

Unschärfe Warnungen im Kraftfahrzeug
Eignet sich eine LED-Leiste als Anzeige für Fahrerassistenzsysteme?

Von der Fakultät für Lebenswissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)
genehmigte
D i s s e r t a t i o n

von Fabian Utesch
aus Hannover

1. Referent:	Professor Dr. Mark Vollrath
2. Referent:	Professor Dr. Frank Eggert
eingereicht am:	28.04.2014
mündliche Prüfung (Disputation) am:	29.09.2014

Druckjahr 2014

Vorveröffentlichungen der Dissertation

Teilergebnisse aus dieser Arbeit wurden mit Genehmigung der Fakultät für Lebenswissenschaften, vertreten durch den Mentor der Arbeit, in folgenden Beiträgen vorab veröffentlicht:

Tagungsbeiträge

Utesch, F. & Vollrath, M. (2011, 28. Oktober). *Neues zur Unscharfen Gefahrenwarnung*. Vortrag auf dem Doktorandenworkshop Verkehrspsychologie, Lüneburg.

Utesch, F. & Vollrath, M. (2010a, 6. Oktober). *Bisherige Erkenntnisse zur peripheren Warnung im Automobil*. Vortrag auf dem PeriWa Workshop, Berlin.

Utesch, F. & Vollrath, M. (2010b, 16. September). *Unscharfe Gefahrenwarnung*. Vortrag auf dem Doktorandenworkshop Verkehrspsychologie, Würzburg.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	9
Disclaimer	10
Danksagung	11
1 Einleitung	12
1.1 Der Bedarf an Fortschritten in der Verkehrssicherheit	12
1.2 Sind autonome Fahrzeuge die besseren Fahrer?	13
1.3 Die Unscharfe Warnung	17
1.4 Ziel der Arbeit	18
1.5 Aufbau der Arbeit	19
2 Visuelle Verarbeitung des Menschen	20
2.1 Menschliches Sehen	20
2.2 Visuelle Aufmerksamkeit	21
2.2.1 Wie genau funktioniert Aufmerksamkeit?	22
2.2.2 Orts- und objektbezogene Aufmerksamkeit	24
2.2.3 Wie lenkt man Aufmerksamkeit?	25
2.3 Periphere Wahrnehmung	26
3 Bisherige Erkenntnisse zur Unscharfen Warnung	32
3.1 Periphere Nachtsicht	32
3.2 Periphere Kollisionswarnung	33
3.3 Multimodaler Warnbaukasten	34
3.4 Gestaltung einer peripheren Anzeige	36
3.5 Versuche mit einer LED-Matrix	38
3.6 Fazit	39
3.7 Offene Fragen	40
4 Wie gut werden periphere Lichtsignale unter der Frontscheibe wahrgenommen?	43
4.1 Einleitung	43
4.2 Methode	44
4.2.1 Versuchsdesign	44
4.2.2 Stichprobe	45
4.2.3 Material	45
4.2.4 Ablauf	46
4.3 Ergebnisse	47
4.4 Diskussion	49
5 Wird eine Unscharfe Warnung intuitiv verstanden?	53
5.1 Einleitung	53

5.2	Methode	54
5.2.1	Versuchsdesign	54
5.2.2	Stichprobe	54
5.2.3	Material	54
5.2.4	Ablauf	56
5.3	Ergebnisse	58
5.3.1	Datenaufbereitung	58
5.3.2	Waren die Warnungen intuitiv verständlich?	58
5.3.3	Wurde das Fahrverhalten durch die Warnungen beeinflusst?	59
5.3.4	Wie wurden die drei Systeme beurteilt?	62
5.4	Diskussion	62
6	Wird die Unscharfe Warnung peripher wahrgenommen?	65
6.1	Einleitung	65
6.2	Methode	66
6.2.1	Versuchsdesign	66
6.2.2	Stichprobe	66
6.2.3	Material	66
6.2.4	Ablauf	69
6.3	Ergebnisse	70
6.3.1	Mit welcher Warnung reagierten die Fahrer besser?	70
6.3.2	Welche Warnung wurde häufiger angeschaut?	71
6.3.3	Welche Warnung wurde von den Probanden bevorzugt?	72
6.4	Diskussion	73
7	Wird auf eine Unscharfe Warnung schneller reagiert, als auf eine symbolhafte Warnung im Kombidisplay?	76
7.1	Einleitung	76
7.2	Methode	77
7.2.1	Versuchsdesign	77
7.2.2	Stichprobe	78
7.2.3	Material	78
7.2.4	Ablauf	79
7.3	Ergebnisse	80
7.3.1	Datenaufbereitung	80
7.3.2	Auf welche der Warnungen wurde am schnellsten reagiert?	80
7.3.3	Gab es einen Hinweis auf einen Effekt des Warntons?	81
7.3.4	Wie wurden die Systeme bewertet?	82
7.4	Diskussion	83
8	Kann der Blick mit der Unscharfen Warnung gelenkt werden?	86
8.1	Einleitung	86
8.2	Methode	88
8.2.1	Versuchsdesign	88
8.2.2	Stichprobe	88
8.2.3	Material	88
8.2.4	Ablauf	91
8.3	Ergebnisse	91
8.3.1	Hat die LED-Warnung den Blick zur Gefahr gelenkt?	92
8.3.2	Wurde der Richtungshinweis verstanden?	93
8.3.3	Konnte die LED-Warnung die Reaktionen der Fahrer verbessern?	93

8.4	Diskussion	95
9	Wie reagieren Fahrer auf eine unscharfe Nebelinformation?	97
9.1	Einleitung	97
9.2	Methode	98
9.2.1	Versuchsdesign	98
9.2.2	Stichprobe	98
9.2.3	Material	98
9.2.4	Ablauf	99
9.3	Ergebnisse	100
9.3.1	Wie reagierten die Fahrer auf die Nebelinformation?	100
9.3.2	Geschwindigkeitsreduktion nur von kurzer Dauer	102
9.3.3	Welche Botschaft wurde durch die Nebelinformation vermittelt?	102
9.4	Diskussion	102
10	Was warnt besser, ein weicher oder harter Warnübergang?	104
10.1	Einleitung	104
10.2	Methode	105
10.2.1	Versuchsdesign	105
10.2.2	Stichprobe	106
10.2.3	Material	106
10.2.4	Ablauf	109
10.3	Ergebnisse	109
10.3.1	Datenaufbereitung	109
10.3.2	Reagieren Fahrer schneller auf einen weichen oder harten Warnübergang?	110
10.3.3	Wohin schauten die Fahrer während der Warnung?	112
10.4	Diskussion	114
11	Abschließende Diskussion	115
	Literaturverzeichnis	122

Abbildungsverzeichnis

1.1	Unfallopfer Deutschland 1950-2011	13
1.2	Prototyp Unscharfe Warnung	17
2.1	Unscharfe Sicht in Peripherie nach Loschky et al. (2005)	21
2.2	Salienzmodell der Aufmerksamkeit nach Itti et al. (1998)	23
2.3	Signal Evaluation Environment nach Werneke und Vollrath (2011)	28
3.1	Nachtsicht über LED-Leiste nach Mahlke et al. (2007)	33
3.2	Gefahrensituationen von Fricke (2009)	34
3.3	Chevrons und LEDs zur Geschwindigkeitsreduktion nach Laquai et al. (2010) . .	36
3.4	Zwei LED Konzepte zur Geschwindigkeitsreduktion nach Laquai et al. (2011) . .	37
3.5	LED-Matrix als Fußgängerwarnung nach Kienast et al. (2008) und Henning et al. (2008)	38
3.6	Nachtsicht per Head-Up Display und LED-Matrix nach Henning et al. (2008) . .	39
4.1	Versuchsfahrzeuge Opel Corsa und VW Passat	45
4.2	Lichtleiste mit Lämpchen	46
4.3	Verdeckungen in Relation zum Deckenabstand	48
4.4	Anteil peripher nicht sichtbare Signale	48
4.5	Sichtbarkeit Lichtsignale an Frontscheibenwurzel	50
5.1	Versuchsstrecke Braunschweig-Echte	55
5.2	Warnungsverlauf	57
5.3	Systemfunktion intuitiv richtig erkannt	59
5.4	Kürzere Geschwindigkeitsübertretungen mit LED-Warnung	60
5.5	Mehr Geschwindigkeitsübertretungen mit LED-Warnung	60
5.6	Fahrgeschwindigkeit schematisch	60
5.7	Anzahl leichte und starke Geschwindigkeitsübertretungen	60
5.8	Anzahl zu dichtes Auffahren	61
5.9	Beurteilungen der Systeme	62
6.1	Fahrsimulator TU-Braunschweig	67
6.2	Dikablis Blickerfassungssystem	67
6.3	Versuchsstrecke schematisch	68
6.4	Kritische Ereignisse	69
6.5	Kollisionswarnungen	69
6.6	Minimalabstand zu Vorderfahrzeug	71
6.7	Reaktionszeiten auf Vorderfahrzeug	71
6.8	Kumulierte Blickdauer bei Warnung	72
6.9	Anzahl Blicke bei Warnung	72
6.10	Blicke zu inaktiven Warnungen	73
6.11	Beurteilung Warnung	73
6.12	Akzeptanz von Fehlalarmen	73

7.1	SURT	78
7.2	Vier Warnsysteme	79
7.3	Reaktionszeiten auf Warnungen	81
7.4	Reaktionszeiten unter Nebenaufgabe	81
7.5	Reaktionszeiten auf Warnungen	82
7.6	Bewertung Systeme	83
7.7	Akzeptanz Fehlalarme	83
8.1	Aufteilung Sichtfeld Dikablis	89
8.2	Fußgänger Ereignisse	90
8.3	Vor- und Hauptwarnung	91
8.4	Anzahl Blicke Fußgänger von rechts	92
8.5	Blickreaktionszeit	93
8.6	Verständlichkeit Richtungshinweis	94
8.7	Bremsverlauf bei Fußgänger	94
8.8	Abgebaute Geschwindigkeit	95
9.1	Nebelinformationen »Warnblinken« und »Balken«	99
9.2	Geschwindigkeitsverlauf bei Nebelfahrt	100
9.3	Bremspedalaktivität bei Nebelfahrt	101
9.4	Geschwindigkeitsverlauf bei Nebelfahrt (einzeln)	101
10.1	Kreuzungsabschnitt schematisch	106
10.2	Vor- und Hauptwarnung	107
10.3	Verlauf Warnaktivität	108
10.4	Mittlere Reaktionszeit	110
10.5	Fehlbremungen	111
10.6	Fälschlicherweise vom Gas gegangen	111
10.7	Aufprallgeschwindigkeit nach Warnübergang	112
10.8	Blickreaktionszeit	112
10.9	Blickverlaufsplot	113

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Antiblockiersystem
ACC	Adaptive Cruise Control
BAS	Bremsassistent
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
FAS	Fahrerassistenzsystem
HUD	Head-Up Display
LED	Light Emitting Diode
MMI	Multimediainterface
PKW	Personenkraftwagen
RGB	Rot, Grün, Blau
SEE	Signal Evaluation Environment
SURT	Surrogate Reference Task
TH	Time Headway
TTC	Time To Collision
VP-Stunden	Versuchspersonenstunden

Disclaimer

Veröffentlichungen über den Inhalt der Arbeit sind nur mit schriftlicher Genehmigung der Volkswagen AG zugelassen.

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen AG.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all den Menschen bedanken, die mich im Laufe der Arbeit unterstützt und ihre Entstehung ermöglicht haben:

Mark Vollrath für die hervorragende Betreuung, Unterstützung und Hilfe während der gesamten Arbeit.

Gabriele Utesch für die Ermunterung dazu ein so großes Projekt in Angriff zu nehmen.

Jasmin Kızıllırmak für die Unterstützung während der gesamten Zeit. Besonders für das hilfreiche Feedback.

Henrike Stöhner unterstützte mich tatkräftig als Hiwi bei der Datenerhebung in frühen Morgenstunden im Winter.

Susann Winkler kam gegen Ende der Arbeit erst als Hiwi und später als Praktikantin zu mir und wirkte maßgeblich bei der Planung und Durchführung einzelner Studien mit.

Richard Halliger stieß als junger Student zu mir und half mir als Praktikant bei der Datenerhebung.

Bastian Farkas danke ich für die überwiegend technische Hilfe in LaTeX, Algorithmenimplementation bei der Blickdatenauswertung und beim Löten in der ags. Auch für das regelmäßige Laufen als sportlichen Ausgleich für die Schreibtischarbeit.

Uwe Becker dafür, dass ich vorübergehend eines der Forschungsfahrzeuge für die Untersuchung von Signalpositionen nutzen durfte.

Kay Schneidewind für die fleißige Nachbearbeitung der Unmengen von Blickdaten.

Matthias Powelleit sowohl für das technische und methodische Know How beim Basteln in SILAB und in der Datenauswertung. Außerdem für den Spaß beim Entwickeln besserer Auswertungsmethoden und das Probelesen der Arbeit am Ende.

Doris Sonntag für den fachkundigen Streckenbau in SILAB inklusiver beispielhafter Dokumentation.

Klaus Reinprecht für die vielen fachlichen Diskussionen, Tipps und den Austausch von Arbeitsmethoden, vor allem im Umgang mit Dikablis, Citavi, SILAB und Diadem.

Elke Muhrer für wertvolle konstruktive Kritik und aufbauende Gespräche.

Julia Werneke für den fachlichen Austausch zur peripheren Warnung und die Literatur.

Andreas Galla für die außerordentlich gute Begleitung, Organisation und Unterstützung.

Eckhard Babbel für die effiziente und bedienfreundliche Software.

Lutz-Christian Quander für tolle Kochsessions und gutes Essen, die mich den Alltagsstress vergessen ließen.

Maria Staubach und **Mohamed Mahmud** für die hilfreichen Tipps zur abschließenden Diskussion.

1 Einleitung

In dieser Arbeit wurde eine neue Anzeige für Kraftfahrzeuge untersucht. Im Gegensatz zu klassischen Systemen war diese nicht auf die Wahrnehmung aus dem Blickfokus, sondern über die visuelle Peripherie ausgelegt. Sie bestand aus einer eindimensionalen Leiste aus mehrfarbigen Light Emitting Diodes (LEDs), die unter der Frontscheibe platziert wurden. Aufgrund der vereinfachten Darstellung wurden Botschaften nicht in Form von Symbolen und Text, sondern über Lichtbalken vermittelt. Diese Balken konnten in Größe, Farbe, Position, Helligkeit und Animation variieren. Das Konzept versprach verschiedene Vorteile gegenüber klassischen Anzeigen zu haben. In mehreren Studien wurden die Wirkung und das Potential der Anzeige, die Verkehrssicherheit zu erhöhen, untersucht. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse findet eine Bewertung darüber statt, ob sich das Konzept als Fahrerassistenzsystem (FAS) zum Einsatz im Straßenverkehr eignet.

1.1 Der Bedarf an Fortschritten in der Verkehrssicherheit

Für viele Menschen ist die Fortbewegung mit einem Fahrzeug der Inbegriff von Mobilität. Der Besitz eines Automobils ermöglicht es uns, weite Strecken in kurzer Zeit und mit geringem Aufwand zurückzulegen und gewährt uns dadurch Unabhängigkeit. Besonders außerhalb von Städten geht der Besitz eines Autos häufig mit Erreichen der Volljährigkeit einher und ist ein Zeichen für die Erlangung der Stufe selbstbestimmten Handelns. Nicht selten ist es sogar ein Statussymbol. Das Automobil ist somit ein wichtiger Teil im Leben vieler Menschen geworden.

Aber auch für die Gesellschaft stellen Automobile eine wichtige Stütze für die Versorgung durch Lebensmittel und Güter dar. Industrieländer zeichnen sich dadurch aus, weitreichende Straßennetze zu haben, die alle wichtigen Orte einer Zivilisation miteinander verbinden. Sie ermöglichen somit einen reibungslosen Austausch von Waren. Der komfortable Lebensstil in Industrieländern wie Deutschland wäre ohne den Straßenverkehr überhaupt nicht möglich.

Diese Vorteile der Mobilität und der Versorgung gehen jedoch mit der Gefahr einher, in einen Unfall verwickelt zu werden. Die Folgen eines Verkehrsunfalls können aufgrund hoher Reisegeschwindigkeiten verheerend sein. Im Jahre 2011 wurden 392 365 Menschen im deutschen Straßenverkehr verletzt und 4 009 Menschen kamen bei Unfällen ums Leben (Statistisches Bundesamt, 2012b) (Abbildung 1.1). Das bedeutet, dass in dem Jahr etwa 11 Menschen pro Tag aufgrund eines Autounfalls gestorben sind.

Die Situation wird dadurch verschärft, dass die Verkehrsdichte auf den Straßen von Jahr zu Jahr zunimmt, denn die Mobilität in Deutschland hat sich seit ihren Anfängen stark verändert und mehr Menschen denn je besitzen ein Auto. Statistisch gesehen stand im Jahre 2011 bereits jedem zweiten Einwohner Deutschlands ein Personenkraftwagen (PKW) zur Verfügung (Statistisches Bundesamt, 2012b), während im Jahre 1953 nur ein Fahrzeug auf jeden 14. Einwohner kam (Statistisches Bundesamt, 2011a, 2012a). Seinen Zielort unversehrt zu erreichen ist nicht nur ein nachvollziehbares Bedürfnis eines jeden Verkehrsteilnehmers sondern beeinflusst nach Angaben von Umfragen unter deutschen Autofahrern auch das Kaufverhalten. Die »Fahrzeugsicherheit/Sicherheitsausstattung« wird in einer Umfrage des Allgemeinen Deutschen Automobilclubs von ca. 56 % der Befragten als Kaufgrund angegeben. Damit ist dies seit 1995 beständig die zweithäufigste Nennung direkt nach »Qualität/Zuverlässigkeit« des Fahrzeugs, welche von 71 % der Befragten genannt wurde (ADAC, 2011a). Sicherheit im Straßenverkehr

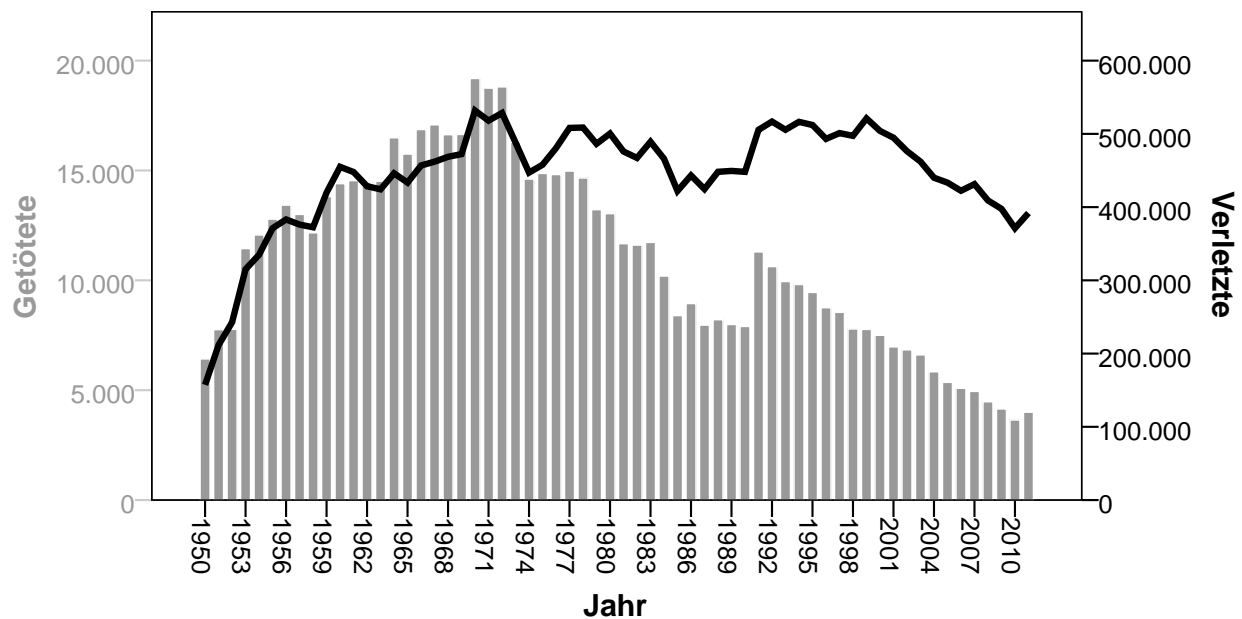


Abbildung 1.1: Verlauf der verunglückten Personen im deutschen Straßenverkehr von 1950-2011 aufgeteilt nach Verletzten (schwarz) und Getöteten (grau) (Statistisches Bundesamt, 2012b).

ist jedoch nicht nur in Deutschland ein wichtiges Thema. So hat die Europäische Kommission sich 2010 das Ziel gesetzt, die Unfallzahlen europaweit bis 2020 zu halbieren (European Commission, 2010a). Um dieses Ziel zu erreichen, ist es wichtig, die häufigsten Unfallursachen zu bestimmen und entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Dies ist leichter gesagt als getan.

An der zwischen 1991 und 2011 beständig gefallenen Zahl der getöteten Unfallopfer in Deutschland (Abbildung 1.1) kann man sehen, dass wir bereits viele der gängigen Gefahrenquellen unter Kontrolle gebracht haben. Die Tatsache, dass diese Zahl im vergangenen Jahr zum ersten Mal seit 20 Jahren wieder gestiegen ist, scheint zu bestätigen, dass es immer schwieriger wird, die verbleibenden Unfallursachen zu bekämpfen. Zur Einführung des Automobils konzentrierte man sich darauf Fehler in der Konstruktion des Fahrzeugs zu verringern. Diese Entwicklung führte dazu, dass heutzutage technische Mängel nur noch selten für Unfälle verantwortlich sind. Im Jahre 2010 waren in Deutschland nur 0.7 % der Unfälle mit Personenschaden auf technische Mängel zurückzuführen (Statistisches Bundesamt, 2011b). Neben einer Beteiligung von Glätte, Regen, Schnee oder Sichtbehinderungen in 17 % der Fälle, waren vor allem Fahrfehler die Hauptunfallursache (Statistisches Bundesamt, 2011b). Heutige Unfälle werden somit zu einem großen Anteil durch den Menschen verursacht. Um möglichst viele Unfälle zu vermeiden, sollten zukünftige Maßnahmen daher beim Fahrer ansetzen, um ihn als Fehlerquelle auszuschließen.

1.2 Sind autonome Fahrzeuge die besseren Fahrer?

Die Reduktion menschlicher Fehler als Unfallursache kann prinzipiell auf drei Wegen erreicht werden: Entweder man unterstützt den Fahrer bei der Fahraufgabe, überlässt Teile der Fahraufgabe dem Fahrzeug selbst oder übergibt die Fahrzeugführung komplett an das Fahrzeug. Wäre dies heutzutage überhaupt schon möglich? Fahrzeuge sind bereits heute rein technisch dazu in der Lage, Fahrfehler zu erkennen. Dem Eingriff eines Systems sind jedoch gesetzlich klare Grenzen gesetzt. Der Einsatz von FAS im Fahrzeug wird unter anderem durch die Wiener Straßenverkehrskonvention von 1968 geregelt. So heißt es dort: »Jeder Führer muss dauernd

sein Fahrzeug beherrschen oder seine Tiere führen können.« (Die Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft, 1968, Art. 8, Abs. 5). Ein Mensch muss also jederzeit die Kontrolle über sein Fahrzeug haben und darf diese nicht komplett an eine Maschine abgeben. Ausnahmen sind nur erlaubt, um die Folgen eines nicht mehr vermeidbaren Unfalls zu vermindern.

Beurteilung von vollständiger Automation Doch angenommen, man könnte das Gesetz einfach ändern und würde autonome Fahrzeuge zulassen. Können Autos sich bereits selbstständig sicher im Straßenverkehr bewegen? Erste Demonstrationen von Google und der TU-Braunschweig zeigen, dass autonome Fahrzeuge keine Science-Fiction mehr sind (Buehler et al., 2008; Thrun, 2011). Trotz Optimismus wird beim näheren Betrachten der Beispiele jedoch klar, dass diese autonomen Fahrzeuge noch nicht marktreif sind. Selbst wenn die technischen Schwierigkeiten bereits komplett gelöst wären und autonome Fahrzeuge morgen in den Markt eingeführt werden könnten, gäbe es eine weitere Hürde: Diese Fahrzeuge wären aufgrund ihrer technischen Ausstattung sehr teuer und würden daher vermutlich aufgrund geringer Verkaufszahlen nur einen schwachen Einfluss auf die Unfallstatistik haben. Weiterhin ist es fraglich, ob Fahrer es überhaupt wünschen, passive Fahrgäste im eigenen Fahrzeug zu werden. Zum Einen haben Menschen durchaus Spaß am Fahren und zum Anderen ist vermutlich nicht jedem wohl bei dem Gedanken daran, die Kontrolle über sein Fahrzeug an eine Maschine abzugeben. Ein vollständiges Ersetzen des Fahrers ist also zumindest heute noch keine realistische Option.

Beurteilung von teilweiser Automation Eine Alternative wäre, den Fahrer durch Teilautomation zu entlasten. Dabei würden bestimmte Fahraufgaben dem Fahrzeug überlassen, während der Fahrer sich bereit halten muss, bei Bedarf wieder die Kontrolle zu übernehmen. Dies wäre immer dann der Fall, wenn eine Situation eintritt, für die das System nicht ausgelegt ist oder das System einfach ausfällt. Der Fahrer würde somit vom Handelnden zum Überwacher werden. Dadurch ergeben sich allerdings neue Probleme, denn Menschen sind nicht besonders gut darin aufmerksam zu bleiben, wenn sie selbst nicht an einer Aufgabe beteiligt sind.

In einem Simulatorexperiment von Niederée und Vollrath (2009) fuhren Probanden mit einem Assistenzsystem welches die Geschwindigkeit automatisch regelte. Das System fiel jedoch nach einer gewissen Zeit aus und die Probanden mussten selbst zügig die Kontrolle übernehmen, um nicht zu schnell durch eine Kurve zu fahren. Es zeigte sich, dass die Probanden, die mit einem hoch zuverlässigen System fuhren, beim Systemausfall deutlich schneller in die Kurve fuhren, als die Probanden mit dem weniger zuverlässigen System. Die Fahrer mit dem zuverlässigen System haben sich anscheinend mehr darauf verlassen und hatten Schwierigkeiten in dem Notfall wieder die Kontrolle zu übernehmen. Der beobachtete Effekt war hier stärker, je zuverlässiger das System war. An diesem Beispiel sieht man, dass ein teilautonomes System sogar Fahrerfehler begünstigen kann. Ein Fehlverhalten der Fahrer, welches heute für einen großen Teil der Unfälle verantwortlich ist, kann daher im Moment weder durch Automation noch durch Teilautomation effektiv vermieden werden.

Beurteilung von Unterstützung der Fahrer Während die ersten FAS wie der elektrische Anlasser (1912), das Automatikgetriebe (1940), die Servolenkung (1952) oder der Bremskraftverstärker (1955) zum Ziel hatten den Fahrkomfort zu erhöhen (ADAC, 2011b), waren später entwickelte Systeme wie das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP), das Antiblockiersystem (ABS) oder der Bremsassistent (BAS) darauf ausgerichtet die Sicherheit zu verbessern, indem aktiv in das Fahrverhalten eingegriffen wird. Aktuelle FAS konzentrieren sich mehr und mehr darauf, den Fahrer durch Warnungen und Information zu unterstützen. Der Fahrer ist somit weiterhin ständig in die Fahraufgabe eingebunden und behält die Kontrolle über sein Fahrzeug. Wenn dieses dann aufgrund von Sensordaten einen Unfall vorhersieht, aber nicht

selbst eingreifen darf, kann es zumindest alle relevanten Informationen an den Fahrer übermitteln. Dadurch hilft ihm das Assistenzsystem dabei, die richtige Entscheidung zu treffen.

Die Unterstützung des Fahrers durch Fahrerassistenz ist eine bewährte Methode um Fahrerfehler wirksam als Ursache für Unfälle auszuschließen. Anhand von Unfallanalysen kann man häufige Unfallursachen im Straßenverkehr bestimmen und den Sicherheitsgewinn durch ein dort eingreifendes FAS berechnen. So wird davon ausgegangen, dass durch abstandsregelnde Assistenz 17.5 % der schweren Unfälle in Deutschland mit Personenschaden verhindert werden könnten (Vollrath, Briest, Drewes, Schiefl & Becker, 2006). Spurhalteassistenten könnten 49 % der LKW-Unfälle durch Spurverlassen auf Autobahnen verhindern (Gwehenberger, Schwertberger & Daschner, 2006) und Spurwechselassistenten haben das Potential 26 % der Unfälle beim Spurwechsel zu verhindern (Farmer, 2008).

Das Potential der Unfallverhütung durch FAS ist somit groß und scheint im Moment weiterhin die beste Option zu sein, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Es ist daher unabdingbar, die Wirksamkeit von Assistenzsystemen zu verbessern, um die Zahl der Verkehrsoffer weiter zu verringern.

Die Bedeutung der Mensch-Maschine-Interaktion Eine besondere Rolle bei der Entwicklung von FAS spielt das Interface der Informationsübermittlung zwischen System und Fahrer. Wenn es gut gestaltet ist, bewirkt es, dass der Fahrer schnell und richtig reagiert. Die Mensch-Maschine Schnittstelle eines FAS beeinflusst auf diese Weise indirekt die Unfallschwere. Es ist daher notwendig die Effektivität von bisherigen Warnsystemen weiter zu erhöhen und auch nach neuen Möglichkeiten zu suchen, um die Übermittlung von sicherheitskritischen Information zwischen Fahrzeug und Fahrer zu verbessern. In der Gestaltung einer optimalen Mensch-Maschine Schnittstelle steht die menschliche Wahrnehmung und Informationsverarbeitung im Vordergrund, denn auf diese muss die Technik zugeschnitten werden. Die sichere Gestaltung unserer Fahrzeuge bewegt sich somit weg von einem rein technischen Problem hin zu einem psychologischen. Ingenieure sind dadurch immer mehr auf die Expertise von Psychologen angewiesen, um eine reibungslose Zusammenarbeit zwischen dem System Fahrzeug und dem System Mensch zu erreichen.

Die Rolle von Anzeigen in der Fahrerassistenz Während Mensch-Maschine Schnittstellen über verschiedene Modalitäten (visuell, akustisch, haptisch) realisiert werden können, spielen visuelle Schnittstellen von FAS eine besondere Rolle. Denn gerade das Sehen ist für das Fahren von großer Bedeutung (Sivak, 1996). So nehmen Menschen ihre Umwelt überwiegend mit den Augen wahr und können auf diesem Wege sehr viel Information erlangen. Oft reicht ein Blick, um sowohl Ort, Größe, Form, Farbe, Textur, Geschwindigkeit als auch die Bewegungsrichtung von Objekten wahrzunehmen (Purves & Williams, 2004). Dies ist im Gegensatz zur akustischen und haptischen Wahrnehmung sogar ohne Informationsverlust durch physikalische Barrieren wie zum Beispiel Glas oder Plexiglas hindurch möglich. Es ist daher nicht verwunderlich, dass ein Großteil der Information im Fahrzeug über den visuellen Kanal in Form von Anzeigen vermittelt wird. Das gilt für grundlegende Fahrzeuginformationen wie Geschwindigkeit, Tankfüllstand, Drehzahl und Motortemperatur, aber auch für Navigation und Unterhaltungselektronik wie Radio, CD-, und Mp3-Player. Auch FAS wie Einparkhilfen und Adaptive Cruise Control (ACC) nutzen Anzeigen, um mit dem Fahrer zu kommunizieren. Schließlich werden Ausnahmestände des Fahrzeugs, wie ein zu niedriger Ölstand, per aufleuchtendem Warnsymbol mitgeteilt. Visuelle Anzeigen stellen somit eine intensiv genutzte Form der Mensch-Maschine Schnittstelle zur Information und Warnung des Fahrers im Kraftfahrzeug dar.

Grenzen von aktueller visueller Assistenz Allerdings haben alle in aktuellen Fahrzeugen genutzten Anzeigen einen Nachteil. Während der Fahrt nutzen wir die Informationen dieser

Anzeigen je nach Situation und Interesse. Unser Blick wechselt dabei regelmäßig zwischen der Straße und den Anzeigen im Fahrzeug. Dies ist problematisch, da wir für die Dauer der Blickabwendung beinahe blind fahren. Nach Ergebnissen aus den USA spielen Blickabwendungen in 78 % der Unfälle und 65 % der Beinahe-Unfälle eine Rolle (Dingus et al., 2006). Fahrer scheinen sich dessen bewusst zu sein und wenden ihren Blick im Durchschnitt nicht länger als eine Sekunde von der Straße ab (Gellatly & Kleiss, 2000). Dennoch erhöht jede Blickabwendung von der Straße die Chance ein kritisches Ereignis zu übersehen und in einen Unfall verwickelt zu werden (Wierwille, 1995). Klassische Anzeigen im Fahrzeug haben daher einen gefährlichen Nebeneffekt.

Um diesem Problem zu begegnen, wurde das aus Flugzeugen bekannte Head-Up Display (HUD) für Kraftfahrzeuge adaptiert. Hierbei handelt es sich um eine Anzeige, welche nahe am Blickfokus in der Frontscheibe eingeblendet wird. Durch Einspiegelung kann diese Anzeige so dargeboten werden, dass sie weiter entfernt wahrgenommen wird als der Ort des Mediums auf das projiziert wird. Dadurch verringert sich die Weite des notwendigen Blicksprungs und die Dauer der notwendigen Akkommodation der Linse des menschlichen Auges, um das neu fixierte Ziel scharf sehen zu können. Die Technik, welche ursprünglich für die Unterstützung von Piloten im Flugverkehr entwickelt wurde und dort erfolgreich eingesetzt wird, lässt sich jedoch nur begrenzt auf die Situation eines Fahrzeugs im Straßenverkehr übertragen (Gish & Staplin, 1995). So stellen Anzeigen von Instrumenten im Flugzeug die primäre Informationsquelle dar, während die Sicht aus dem Cockpit zweitrangig ist. Im Fahrzeug ist dies umgekehrt. Während ein HUD im Flugzeug einfach über die Sicht auf den Himmel eingeblendet werden kann, ist im Fahrzeug auch die Außensicht sehr wichtig, so dass diese möglichst wenig verdeckt werden sollte (Gish & Staplin, 1995). Weiterhin werden Piloten gezielt darin geschult die Symbolik eines HUD zu verstehen und auch allein nach Instrumenten zu fliegen. Autofahrer hingegen erhalten kein spezielles Training im Umgang mit HUDs und müssen die Nutzung selbst erlernen. Dies geschieht selten in einer geschützten Lernumgebung als vielmehr direkt im Feld: Zum Beispiel durch den Neukauf eines Fahrzeugs oder auch beim Fahren eines Mietwagens. Dies ist ein weiterer Unterschied zwischen der Nutzung von HUDs im Flug- und Straßenverkehr (Gish & Staplin, 1995). Heutige Anzeigen können die negativen Effekte der zum Ablesen benötigten Blickabwendung leider nicht verhindern, auch wenn sie durch den Einsatz von HUD verringert werden können.

Ungenutztes Potential: Das periphere Sichtfeld Wenn klassische Anzeigen Blickabwendungen von der Straße erzwingen und HUDs dieses Problem nur ansatzweise lösen, welche Alternativen gibt es? Im Alltag nutzt der menschliche Körper die Sicht der Peripherie um potentiell relevante Objekte und insbesondere Gefahren schnell zu erkennen. Es wäre daher vermutlich vorteilhaft, diese bereits bestehenden Mechanismen der menschlichen Wahrnehmung auch im Straßenverkehr gezielt zu nutzen. Eine Alternative dazu das Display näher an den Fixationspunkt zu bringen, um Blickabwendungen von der Straße zu verringern, ist eine Anzeige so zu gestalten, dass sie aus dem Augenwinkel wahrgenommen werden kann. Allerdings müssen hier Anpassungen in der Gestaltung vorgenommen werden, denn die periphere Sicht unterscheidet sich erheblich von der zentralen. Die Photorezeptoren menschlicher Augen, welche an der peripheren Wahrnehmung beteiligt sind, sind nicht dazu in der Lage scharfes Sehen zu ermöglichen. Sie sind jedoch sehr empfindlich für Bewegungen und Veränderungen im Sichtfeld (Jonides, 1981; Lambert, Spencer & Mohindra, 1987; Remington, Johnston & Yantis, 1992). Eine auf die periphere Wahrnehmung optimierte Anzeige muss auf diese Besonderheiten angepasst werden. Aufgrund der vergleichsweise geringen visuellen Auflösung im peripheren Sichtfeld darf die Anzeige kein scharfes Sehen erfordern. Das bedeutet, dass auf symbolische und textuelle Information verzichtet werden muss. Zur Informationsvermittlung können stattdessen Flächen, Farben und Animationen genutzt werden. Zusätzlich sollte eine Anzeige größer dar-

geboten werden, um trotz eingeschränkter Sichtschärfe wahrgenommen zu werden. Aus diesen Anforderungen ergibt sich ein Warnkonzept, welches die Eigenschaften der peripheren visuellen Wahrnehmung nutzt, um eine hohe Warnwirkung bei geringer Ablenkung zu erreichen. In dieser Arbeit wurde ein solches Konzept in Form einer Unscharfen Warnung umgesetzt und erforscht.

1.3 Die Unscharfe Warnung

Der Begriff einer Unscharfen Warnung kann auf verschiedene Arten hergeleitet werden. Die Bezeichnung ergibt sich sowohl aus der Warnbotschaft, als auch aus der Weise, auf welche die Anzeige wahrgenommen wird. In Bezug auf die Warnbotschaft, steht er für eine unspezifische Warnung, die aufgrund der Begrenzung der Darstellung auf Lichtbalken prinzipiell bedingt sehr generisch ist. Dadurch vermittelt sie die Ursache für die Warnung nicht so spezifisch wie eine klassische symbolhafte Warnung. Wird er auf die visuelle Wahrnehmung bezogen bedeutet der Begriff, dass die Anzeige im normalen Anwendungsfall nur unscharf im schwach auflösenden peripheren Blickfeld zu sehen ist.

Die in dieser Arbeit verwendete Anzeige bestand aus einer LED-Leiste, die unter der Frontscheibe im Fahrzeug angebracht wurde (ähnlich zu Abbildung 1.2). Sie wurde so positioniert, dass sie beim normalen Blick auf die Straße im peripheren Blickfeld sichtbar war, und unterscheidet sich von klassischen Warnsystemen dadurch, dass sie über eine größere Darbietungsfläche verfügt und keine symbolhaften Botschaften in Form von Buchstaben oder Zeichen darstellt. Mit Hilfe von 128 dreifarbigem Rot, Grün, Blau (RGB) LEDs konnten Lichtbalken angezeigt werden, die sich in Größe, Farbe, Helligkeit und Animation unterscheiden.



Abbildung 1.2: Ein Prototyp der Unscharfen Warnung. Mehrfarbige LEDs unter der Frontscheibe und an den A-Säulen können den Fahrer informieren oder warnen. Die Verwendung der Abbildung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Volkswagen AG.

Aufgrund dieser Eigenschaften hat die Unscharfe Warnung das Potential, klassischen FAS gegenüber drei Vorteile zu haben:

Weniger Blickabwendungen Die Nutzung von ausschließlich symbolfreien Anzeigen klingt zunächst nach einer Einschränkung, dies kann jedoch durchaus von Vorteil sein. Auf einem Fahrzeugdisplay müssen Schriftzeichen und Symbole direkt angesehen werden um gelesen werden zu können. Ein Lichtbalken hingegen kann auch aus dem Augenwinkel wahrgenommen

werden. Durch die symbolfreie Darstellung gibt es bei der Unscharfen Warnung keine Information, die durch einen direkten Blick zur Anzeige gegenüber einem Blick aus dem Augenwinkel gewonnen werden kann. Dies müsste dazu führen, dass die Fahrer den Blick seltener von der Straße abwenden, um die Anzeige zu betrachten.

Bessere Reaktionen Die hier verwendete Unscharfe Warnung verfügt aufgrund ihrer Breite von der linken zur rechten A-Säule über eine größere Fläche als Anzeigen, die im Kombidisplay hinter dem Lenkrad oder ähnlichen Anzeigen in der Mittelkonsole oder im HUD dargeboten werden. Aus der Grundlagenforschung ist bekannt, dass auf größere Reize in der Regel schneller reagiert werden kann als auf kleinere (Osaka, 1976). Zusätzlich befindet sich die LED-Leiste der Unscharfen Warnung mit ihrer Position an der Frontscheibenwurzel nahe am üblichen Blickfokus der Fahrer, wenn diese auf die Straße schauen. Menschen reagieren auf Reize, die näher an der aktuellen Blickrichtung dargeboten werden, in der Regel schneller als auf weiter entfernte Reize. In einem Versuch von Cohen (1987) reagierten Fahrer während einer Autofahrt auf Lichter, die im Bereich der Windschutzscheibe dargeboten wurden. Die Reaktionen auf Lichter, die innerhalb eines Radius von 10° dargeboten wurden, war etwa 700 ms schneller als auf Lichter, die in einem Radius von 30° oder mehr lagen. Aufgrund ihrer Größe und Nähe zum Blickfokus sollte die Unscharfe Warnung somit zu schnelleren Reaktionszeiten im Gefahrenfall führen können als klassische Anzeigen. Der Vorteil sollte gegenüber Warnungen im Kombidisplay stärker sein als gegenüber Anzeigen im HUD, da die Unscharfe Warnung dem Kombidisplay gegenüber sowohl in Größe als auch Nähe zum Blickfokus, dem HUD gegenüber nur in Anzeigegröße günstigere Merkmale aufweist.

Gezielte Blicklenkung Die ungewöhnliche Breite der Unscharfen Warnung ermöglicht es weiterhin, gerichtete Signale tatsächlich in Gefahrenrichtung darzubieten. Dies ist durch die örtlich sehr beschränkte Fläche in einem Kombi-, Head-Up oder Multimediadisplay so nicht möglich. Klassische Anzeigen können gerichtete Warnungen nur in Form von richtungsweisenden Symbolen, wie etwa einem Pfeil, umgesetzt werden. Mit der Unscharfen Warnung ist es möglich, eine Warnung vor einer frontalen Gefahr zumindest horizontal wirklich dort anzuzeigen, wo sie sich relativ zum Fahrer befindet. Grundsätzlich sind Blicklenkungen anhand von Lichtsignalen durchaus möglich (Lambert et al., 1987; Remington et al., 1992; Irwin, Colcombe, Kramer & Hahn, 2000). Dabei kann auf Reize, die versetzt in Zielrichtung angezeigt werden, schneller reagiert werden als auf einen zentralen Hinweisreiz, welcher nur in die Zielrichtung deutet (Remington, 1978). Es bleibt offen, ob sich dieser Effekt auch im Fahrzeug anhand von Assistenzsystemen zeigen lässt.

1.4 Ziel der Arbeit

Um die heute überwiegend für Unfälle verantwortlichen Fahrerfehler zu verringern, werden Weiterentwicklungen in FAS benötigt. Eine periphere Anzeige stellt eine Alternative zu klassischen Anzeigen im Kraftfahrzeug dar. Die Unscharfe Warnung als prototypische Umsetzung einer peripheren Warnung verspricht, mehrere Vorteile gegenüber klassischen Anzeigen zu haben. Sie könnte in Zukunft in Fahrzeugen eingesetzt werden, um gefährliche Blickabwendungen von der Straße zu verringern, Reaktionen in kritischen Situationen zu beschleunigen und den Blick der Fahrer auf sicherheitsrelevante Bereiche zu lenken.

Sollte sie diesen Ansprüchen gerecht werden, würde sie das Potential bieten, die Verkehrssicherheit signifikant zu erhöhen. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte daher eine Untersuchung des Systems in verschiedenen Aspekten und Anwendungsbereichen. Aufgrund der gewonnenen

Erkenntnisse erfolgt am Ende eine abschließender Bewertung darüber, ob sich die Unscharfe Warnung als Anzeige für FAS zum Einsatz im Straßenverkehr eignet.

1.5 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit untersucht die Interaktion zwischen einer neuen Anzeige und dem Fahrer. Die Merkmale der menschlichen visuellen Verarbeitung bilden die Voraussetzungen, auf welche die Anzeige zugeschnitten werden muss. Die Arbeit beginnt daher mit einer Übersicht der für die Wirkung der Anzeige relevanten Mechanismen der menschlichen Informationsverarbeitung (Kapitel 2). Vor der Auswahl der Forschungsfragen ist es weiterhin wichtig, einen Überblick über die bisherigen empirischen Befunde zu Unscharfen Warnungen zu geben. In Kapitel 3 wird daher der aktuelle Stand der Forschung wiedergegeben. Da es bisher nur wenige Untersuchungen über Unscharfe Warnungen im Automobil gibt, werden auch Studien berücksichtigt, die Systeme erforscht haben, welche der Unscharfen Warnung ähnlich sind. Dann folgt eine Bewertung der bisherigen Erkenntnisse und eine Ableitung offen gebliebener Fragestellungen. Diese werden schließlich ab Kapitel 4 im Hauptteil der Arbeit empirisch untersucht.

Die Arbeit stellt somit ein Bindeglied zwischen den Erkenntnissen aus der psychologischen Grundlagenforschung und der Anwendung in der Praxis dar. Das gesamte Konzept der Anzeige beruht auf Erkenntnissen zur visuellen Wahrnehmung und Informationsverarbeitung des Menschen. Anhand der dort aufgestellten Modelle konnten Hypothesen über die Wirkung einer Unscharfen Warnung abgeleitet werden. Mit der Anwendung dieses Wissens in der Gestaltung einer neuen Anzeige für den Straßenverkehr trägt diese Arbeit dazu bei zu überprüfen, inwieweit sich diese Erkenntnisse auf die Praxis übertragen lassen. Darüber hinaus erweitert sie das psychologische Verständnis für das Warnkonzept der Unscharfen Warnung, welches wiederum in der Gestaltung weiterer Systeme genutzt werden kann.

Auf diese Weise leistet diese Arbeit einen Beitrag dazu, das Wissen in dem Gebiet peripherer Warnungen im Kraftfahrzeug zu erweitern und nach möglichen Anwendungen zur Fahrerinformation und -warnung zu suchen. Ein besseres Verständnis der Bedeutung der peripheren Wahrnehmung für die Fahraufgabe kann wiederum dabei helfen, einen bisher vernachlässigten Aspekt der menschlichen Wahrnehmung effektiv in der Gestaltung von FAS im Straßenverkehr zu nutzen und so die Sicherheit auf den Straßen zu erhöhen.

2 Visuelle Verarbeitung des Menschen

Das Wirkprinzip der Unscharfen Warnung beruht maßgeblich auf grundlegenden Erkenntnissen und Theorien visueller Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Es ist daher an dieser Stelle wichtig, einen kurzen Überblick über entsprechende Grundlagen visueller Informationsverarbeitung zu geben. Die visuelle Wahrnehmung wird zum Einen durch die biologischen Gegebenheiten des visuellen Systems und zum Anderen durch die kognitiven Verarbeitungsprozesse im Gehirn beeinflusst. Für die Wahrnehmung von potentiellen Gefahren und Warnsignalen ist die visuelle Auflösung von großer Bedeutung. Je höher die Auflösung, desto mehr Details aus der Umwelt können wahrgenommen werden. Ein menschliches Auge weist hier bereits große Unterschiede in verschiedenen Bereichen des Sichtfeldes auf. Diese werden im Folgenden kurz dargestellt (Abschnitt 2.1). Die über das Auge aufgenommene Information wird im Gehirn weiter verarbeitet. Auf diese Weise kann gezielt die Wahrnehmung einzelner Aspekte verstärkt oder gehemmt werden. Diese Prozesse werden in Abschnitt 2.2 beschrieben. Die periphere Wahrnehmung stellt nur einen Teilaspekt des menschlichen Sehens dar. Doch da die in dieser Arbeit untersuchte Anzeige gerade auf diesen Bereich ausgelegt ist, werden in einem eigenen Abschnitt noch einmal gezielt die Besonderheiten peripherer Sicht zusammengefasst (Abschnitt 2.3).

In dieser Arbeit steht die Bewertung einer konkreten Anzeige im Vordergrund. Daher wird auf eine detaillierte Beschreibung der Grundlagen visueller Verarbeitung verzichtet und stattdessen die Bedeutung dieser Prozesse für den Kontext der Fahrerassistenz hervorgehoben.

2.1 Menschliches Sehen

Obwohl es uns normalerweise nicht auffällt, nehmen wir einen Großteil unseres Sichtfeldes nur sehr grob wahr. Um herauszufinden, wie sehr unsere Sehschärfe zur Peripherie hin abnimmt, führten Loschky, McConkie, Yang und Miller (2005) einen geschickten Versuch durch. In diesem zeigten sie Probanden verschiedene Fotos. Während die Probanden ein Foto betrachteten, wurden synchron zu ihren Blicksprüngen, für den Zeitraum der Fixation, bestimmte Bereiche des Bildes künstlich verwischt. Dabei wurde jeweils die aktuelle Blickrichtung berücksichtigt und die Verwischung erfolgte nur im Bereich des Bildes, der im peripheren Sichtfeld lag. Wenn der nächste Blicksprung erfolgte, wurde wieder das Originalbild angezeigt. Von fünf untersuchten Verwischungsstärken wurden zwei praktisch nicht bemerkt (Abbildung 2.1).

Wir können also nur im gerade fixierten Bereich scharf sehen. Dies liegt zum Einen an der Anatomie unseres Auges und zum Anderen an der neuronalen Gewichtung der in unser Gehirn geleiteten visuellen Information. So befinden sich zwei Arten von photosensitiven Rezeptoren in unserem Auge: Zapfen und Stäbchen. Während Zapfen in der Lage sind, Farbinformationen aufzunehmen und einfallendes Licht in einer hohen Auflösung zu verarbeiten, liefern Stäbchen nur ein grob aufgelöstes Bild der Umwelt, sind jedoch darauf spezialisiert, feinste Helligkeitsunterschiede und Bewegungen festzustellen. Die Stäbchen liefern auch bei sehr wenig Licht noch Informationen und ermöglichen es uns somit, bis zu einem gewissen Grad bei Dunkelheit zu sehen. Dieser Vorteil wird unter Anderem durch eine starke Konvergenz der Information von beieinander liegenden Stäbchen erreicht. Der Preis dafür ist allerdings eine deutlich schlechtere visuelle Auflösung im Vergleich zu den Zapfen.

Der Ort des schärfsten Sehens ist die Fovea. Sie bezeichnet einen kleinen, relativ zentral gelegenen Bereich auf unserer Netzhaut der fast ausschließlich aus Zapfen besteht. Zur Peripherie

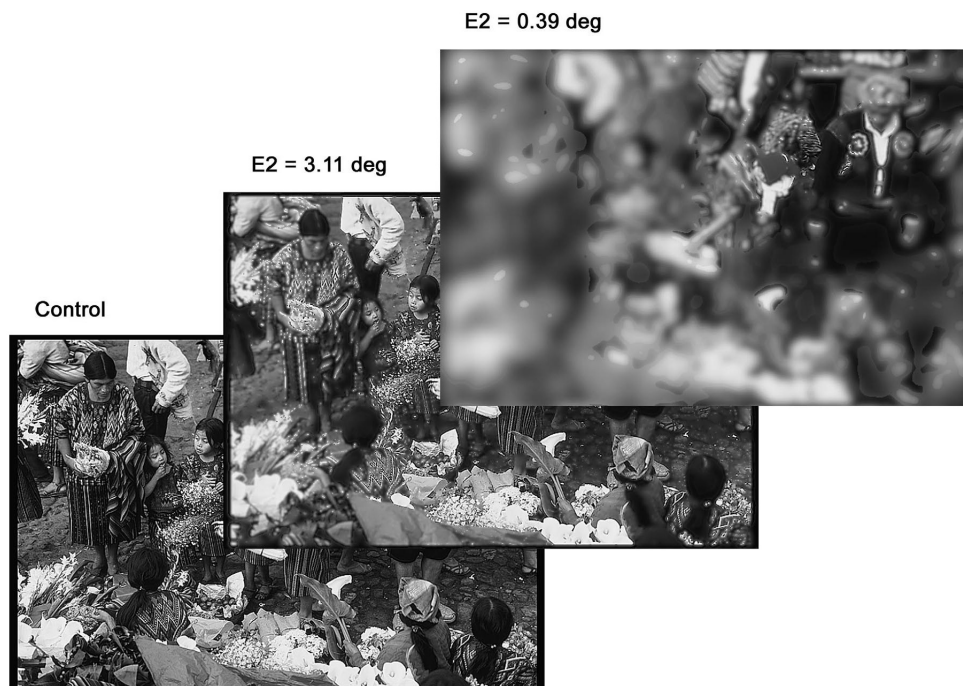


Abbildung 2.1: Stimulusmaterial aus dem Versuch von Loschky et al. (2005). Die Verwischung des mittleren Bildes im Vergleich zum linken wurde kaum bemerkt. Die Verwendung der Abbildung erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Taylor & Francis online.

hin nimmt die Konzentration der Zapfen stark ab, die der Stäbchen hingegen stark zu (Curcio, Sloan, Kalina & Hendrickson, 1990). Im menschlichen Auge eines Erwachsenen befinden sich durchschnittlich 4.6 Millionen Zapfen und 92 Millionen Stäbchen (Curcio et al., 1990). Das sind 20 mal so viele Stäbchen wie Zapfen. Die Stäbchen bedecken damit einen Großteil der gesamten Netzhaut. Wenn wir ein Objekt direkt anschauen, fällt das von ihm reflektierte Licht auf die Fovea und ermöglicht damit eine gute, scharfe Wahrnehmung des Objektes in Farbe (foveales Sehen). Dieser Bereich des schärfsten Sehens deckt jedoch nur ca. 2° unseres Gesichtsfeldes ab und bei einer Exzentrizität von 6° ist die Sehschärfe bereits um 75 % verringert (Purves & Williams, 2004). Die nicht fixierte Umgebung wird zwar nicht scharf wahrgenommen, aber dafür sind wir hier sehr empfindlich für Bewegungen und die Wahrnehmung funktioniert auch noch bei schwachem Licht (peripheres Sehen).

Unsere Sehschärfe wird also zu einem Großteil durch den Rezeptortyp (Zapfen, Stäbchen) und die Rezeptordichte bestimmt. Allerdings gibt es einen weiteren Faktor der eine Rolle spielt: Die Anzahl der an der Verarbeitung beteiligten Neuronen in unserem Gehirn (rezeptive Felder). Die Größe der rezeptiven Felder unserer Photorezeptoren nimmt von der Peripherie hin zur Fovea zu (Cowey & Rolls, 1974; Purves & Williams, 2004). Obwohl die Fovea nur einen relativ geringen Teil der Retina ausmacht, ist ein Großteil der Nervenzellen aus dem primären visuellen Cortex an der Verarbeitung der fovealen Signale beteiligt. Der relativ kleine Bereich der Fovea ist somit kortikal überrepräsentiert. Durch diese neuronale Gewichtung werden die Informationen der Fovea intensiver verarbeitet und damit die Wahrnehmung in diesen Bereichen noch einmal verbessert.

2.2 Visuelle Aufmerksamkeit

Wie gut wir einen visuellen Reiz wahrnehmen können, hängt allerdings nicht nur von physiologischen Faktoren ab. Neben der Anzahl, Art und Dichte der Photorezeptoren und der

Anzahl an Gehirnzellen, welche an der Verarbeitung visueller Signale beteiligt sind, haben wir die Möglichkeit, gezielt verschiedene Objekte in unserer Umgebung zu beachten, um sie besser wahrnehmen zu können (Posner, Snyder & Davidson, 1980; Reynolds & Chelazzi, 2004). Der Preis dafür ist, dass gleichzeitig andere, nicht beachtete Reize vernachlässigt werden (Posner et al., 1980). Dieser Effekt wurde in Untersuchungen der Allgemeinen Psychologie eingehend erforscht. In einem Experiment von Posner, Nissen und Ogden (1978) mussten Probanden auf einen Reiz reagieren, welcher entweder links oder rechts von einem Fixationskreuz erscheinen konnte. Die Probanden erhielten außerdem Hilfe durch einen Hinweisreiz, welcher die Position des Zielreizes angab. Auf diese Weise verfügten die Probanden bereits im Voraus über eine Information der Position des Zielreizes. Allerdings wurde die Zuverlässigkeit des Hinweisreizes variiert. Es zeigte sich, dass die Probanden mit einem zuverlässigen Hinweisreiz, welcher in 80 % der Fälle die richtige Richtung angab, im Schnitt 60 ms schneller reagierten als mit einem Hinweisreiz, welcher nur in 20 % der Fälle korrekt war.

Der Vorgang, welcher es ermöglicht, sich auf ein Merkmal zu konzentrieren, um seine Wahrnehmung zu verbessern, wird Aufmerksamkeit genannt. Dabei ist es nicht einmal unbedingt notwendig, wirklich den Blick auf ein Objekt zu fokussieren, denn Aufmerksamkeit kann auch die periphere Wahrnehmung verbessern (Posner, 1980). Weiterhin ist Aufmerksamkeit nicht auf das Sehen beschränkt. So kann durch gezielte Konzentration auch die Wahrnehmung von auditiven (Moray, 1959) oder taktilen (Evans & Craig, 1991) Reizen verstärkt werden.

Aufmerksamkeitszuwendung kann bewusst oder unbewusst geschehen. Viele haben es sicherlich schon einmal selbst erlebt. Ein blinkendes Licht oder sich schnell bewegendes Objekt im peripheren Gesichtsfeld hat den Blick auf sich gezogen, ohne dass man das explizit wollte. Vielleicht anhand einer Werbereklame, die einem auffällt, während man nachts durch die Straßen fährt oder durch einen animierten Werbebanner, der einen stört während man im Internet surft. Wenn sich unsere Aufmerksamkeit gegen unseren Willen auf ein Objekt ausrichtet, sprechen wir von Ablenkung. Tatsächlich ist dies ein gut untersuchter Effekt in der Aufmerksamkeitsforschung. Unabhängig von der Reizdimension wird foveale Aufmerksamkeit automatisch auffälligen Reizen zugewendet, ohne dass wir dies verhindern könnten (Theeuwes, 1991, 1992; McCormick, 1997). Über den Grund für diesen Effekt kann man nur mutmaßen. Aber es ist sicherlich plausibel, dass diese Fähigkeit der Lebenserhaltung dienlich ist, wenn es darum geht, auf eine sich schnell nähernde Gefahr zu reagieren. Wenn wir die Gesetzmäßigkeiten von Aufmerksamkeit besser verstehen, können wir sie gezielt nutzen, um FAS zu verbessern. Aus diesem Grund werden im Folgenden die wichtigsten Erkenntnisse vorgestellt.

2.2.1 Wie genau funktioniert Aufmerksamkeit?

Man geht heutzutage davon aus, dass vier Prozesse am Phänomen der Aufmerksamkeit beteiligt sind: Das Arbeitsgedächtnis, Top Down Kontrolle, Bottom Up Salienzfilter und eine kompetitive Selektion (Knudsen, 2007). Diese sollen am Beispiel der visuellen Aufmerksamkeit, die bisher am besten untersucht ist, kurz erklärt werden.

Arbeitsgedächtnis Im Mittelpunkt steht das Arbeitsgedächtnis, welches den Inhalt der Dinge, mit denen man sich zu einem beliebigen Moment beschäftigt, abbildet (LaBar, Gitelman, Parrish & Mesulam, 1999). Nur was ins Arbeitsgedächtnis gelangt, wird vom menschlichen Gehirn intensiver verarbeitet. Seine Kapazität ist allerdings begrenzt (Baddeley, 2003). Auf diese Weise bildet es eine natürliche Ressource für Aufmerksamkeit.

Bottom up Salienzfilter Wie diese Ressource verteilt wird, hängt nun von der Beschaffenheit der Umweltreize ab. Grundsätzlich werden auf diese Weise Reize ausgewählt, die sich in einem

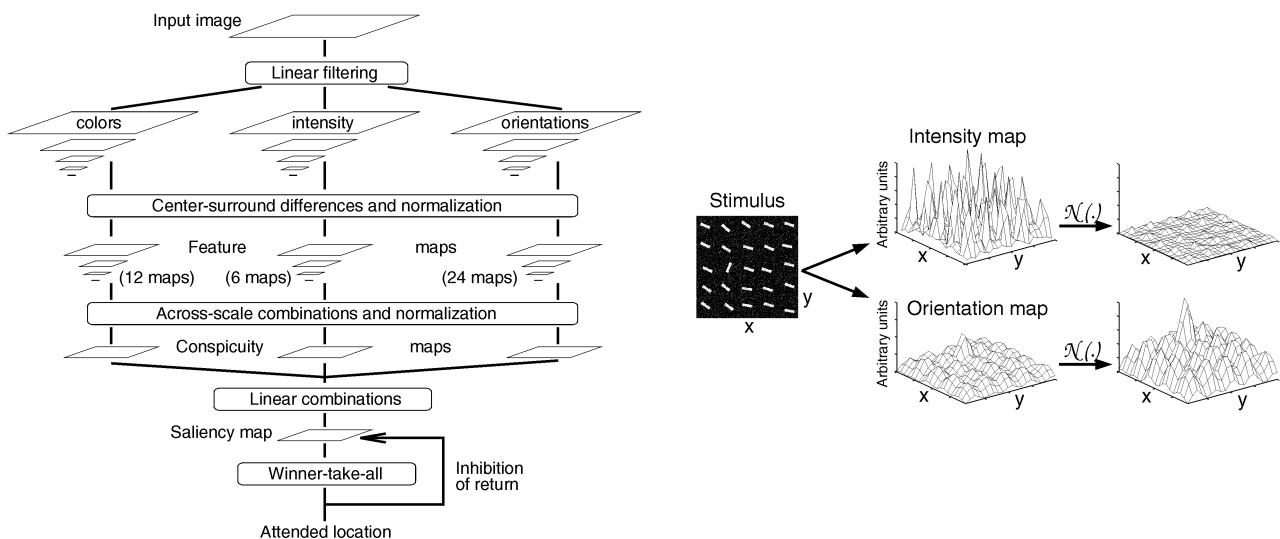


Abbildung 2.2: Aufmerksamkeitsmodell nach Itti et al. (1998). In der kognitiven Verarbeitung wird die visuelle Szene anhand verschiedener Merkmale in einzelne Karten aufgeteilt (links). Für jede dieser Karten findet ein Normalisierungsprozess statt, welcher relativ von der allgemeinen Aktivierung abweichende Merkmale verstärkt (rechts). Die Verwendung der Abbildung erfolgt mit freundlicher Genehmigung von IEEE.org – © 1998 IEEE.

Merkmal stark von der Umgebung unterscheiden. Dies können Lichtblitze, Bewegungen, Objekte mit einer bestimmten Farbe oder Form oder beliebige andere Merkmale sein. Man kann es sich so vorstellen, als würde von jedem Merkmal (Form, Farbe, Bewegung) eine interne Repräsentation in Form von Karten der visuellen Szene erstellt (Itti & Koch, 2001). Für jeden Ort auf der Karte gibt es nun ein Aktivierungslevel für das jeweilige Merkmal. Wenn ein Merkmal eine ungewöhnliche Aktivierung aufweist, ist es auffällig und wird beachtet (Abbildung 2.2). Dabei zählt die Größe der relativen Unterschiede zur Umgebung und nicht eine grundsätzlich hohe oder niedrige Aktivierung (Itti & Koch, 2000).

Top Down Kontrolle Allerdings wird die Entscheidung, welche der Umweltreize in das Arbeitsgedächtnis gelangen, nicht allein durch die Reizbeschaffenheit getroffen. Interne Prozesse wie Erfahrung und aktuelle Ziele nehmen einen Einfluss auf die Gewichtung der einströmenden Information. Dabei werden gezielt Merkmale von hoher Bedeutung in der Verarbeitung gestärkt und Merkmale von geringer Bedeutung gehemmt (E. K. Miller & Cohen, 2001).

Kompetitive Selektion Zu jedem beliebigen Zeitpunkt wird die visuelle Szene somit parallel auf verschiedenen Merkmalskarten repräsentiert. Treten mehrere auffällige Reize zur selben Zeit auf, wird der stärkste Reiz ausgewählt und dieser Ort beachtet; dieser Vorgang wird als kompetitive Selektion bezeichnet (Desimone & Duncan, 1995). Der Ablauf dieser vier Prozesse soll an einem Beispiel erläutert werden:

Wenn wir während einer Autofahrt bei Nacht auf die Straße vor uns schauen, ist die visuelle Szene überwiegend grau und farblos. Eine Merkmalskarte der sichtbaren Szene von der Farbe Weiß hätte somit wenig Aktivierung. Die Farbe Rot hätte praktisch keine Aktivierung.

Bottom up Salienzfilter Wenn uns nun ein entgegenkommendes Fahrzeug mit seinen Frontscheinwerfern anleuchtet, weist die weiße Merkmalskarte am Ort der Scheinwerfer eine sehr hohe Aktivierung auf, die sich stark von der restlichen Szene unterscheidet. Wir würden auf das Licht achten. Ein Tier am Straßenrand könnte auf

diese Weise übersehen werden, da es sich nur schwach von der Umgebung abhebt. Wenn nun jedoch ein Assistenzsystem aktiv wird, um uns vor dem Tier zu warnen und eine rote Warnung einblendet, wird die rote Merkmalskarte an dem Ort eine hohe Aktivierung aufweisen und sich damit von der Aktivität der restlichen Szene stark unterscheiden.

Kompetitive Selektion Es ist gut denkbar, dass die rote Warnung sich stärker von der Umgebung abhebt als das weiße Licht, da es durchaus verschiedene Grautöne in der Szene gibt, aber kaum Rottöne. Sie unterscheidet sich außerdem durch Neuheit, da sie gerade erst aufgetaucht ist. Der Ort, welcher den größten Unterschied aufweist, zieht unsere Aufmerksamkeit auf sich – in diesem Fall die Position der roten Warnung.

Top Down Kontrolle Die Warnung ist uns bekannt und wir assoziieren sie mit einer möglichen Gefahrenquelle außerhalb des Fahrzeugs. Wir beginnen nun, nach der Ursache zu suchen und ignorieren gezielt sowohl das weiße Scheinwerferlicht, als auch die rote Warnung. Dabei wird die Verarbeitung der roten und weißen Merkmalskarte am Ort der Warnung und der Scheinwerfer gehemmt und die am dunklen Straßenrand verstärkt.

Arbeitsgedächtnis Unsere Wahrnehmung im Bereich des Straßenrands wird verbessert und wir sehen ein Tier, welches vor uns auf die Straße laufen könnte.

Zusammenfassend ergibt sich das Bild von einem sehr flexiblen Aufmerksamkeitssystem, welches sich je nach Aufgabenanforderung in seiner Verarbeitungsart anpassen kann. Es bleibt jedoch eine Beschränkung der Kapazität Aufmerksamkeit: Wird sie in einem Bereich stärker eingesetzt, muss sie woanders weggelassen werden. Weiterhin wird Aufmerksamkeit nicht entgegengebracht, sondern ist ein ständiger Prozess, welcher durch Reize aus der Umwelt und unsere Intentionen in eine bestimmte Richtung gelenkt werden kann.

2.2.2 Orts- und objektbezogene Aufmerksamkeit

Bisher wurde nur die ortsbezogene Aufmerksamkeit beschrieben. Auffällige Reize oder bewusstes Interesse führen dazu, dass wir uns auf einen Ort in unserem Sichtfeld konzentrieren und unsere Wahrnehmung an der Stelle verbessern. Dies geschieht entweder mit oder ohne Blickzuwendung. Aufmerksamkeit kann also als eine Art Spotlight gesehen werden, das willentlich oder unwillkürlich auf bestimmte Reize ausgerichtet wird (Posner et al., 1980). Diese Metapher ist jedoch nicht perfekt. So konnte gezeigt werden, dass die Wahrnehmung auch objektbasiert verbessert werden kann (Duncan, 1984).

In einem bekannten Video wird man gebeten, eine Gruppe von ballspielenden Studenten zu beobachten und dabei die Ballwechsel zwischen dem Team mit weißen T-Shirts zu zählen, während gleichzeitig auch ein Team mit schwarzen T-Shirts zu sehen ist (Chabris & Simons, 1999). Vor dem Weiterlesen, empfehle ich diesen Effekt selbst im Internet auszuprobieren: <http://www.theinvisiblegorilla.com/videos.html>.

Den meisten Menschen gelingt dies ziemlich gut. Was allerdings die Wenigsten bemerken ist, dass während des Ballspiels ein schwarzer Gorilla zentral durch das Bild läuft und in die Kamera schaut. Wäre Aufmerksamkeit nur ortsbezogen, müssten wir den Gorilla wahrnehmen, aber da wir uns selektiv auf die Farbe Weiß konzentrieren, werden andere Reize, die am selben Ort auftreten, ignoriert.

Der Widerspruch zwischen Hinweisen auf orts- und objektbezogene Aufmerksamkeitsausrichtung führte dazu, die Spotlightmetapher zu verwerfen und nach einer allgemeineren Theorie zu suchen, welche auch objektbezogene Aufmerksamkeit erklären kann. Schließlich kam man

zu der Annahme, dass Aufmerksamkeit merkmalsbezogen sei und der Ort eines beliebigen Reizes neben Farbe, Bewegung und Orientierung nur ein Merkmal von vielen ist, auf das wir uns konzentrieren können (Treue & Trujillo, 1999; Maunsell & Treue, 2006).

2.2.3 Wie lenkt man Aufmerksamkeit?

Nun, da die Grundlagen der Aufmerksamkeit bekannt sind, sollen einige Faktoren vorgestellt werden, welche die Aufmerksamkeitsausrichtung beeinflussen.

Einzigartigkeit Wie bereits erwähnt, hängt die Sichtbarkeit eines Reizes nicht von seiner Beschaffenheit, sondern von seiner Beschaffenheit relativ zur Umgebung ab. Je intensiver sich ein Reiz in einem Merkmal von der Umgebung unterscheidet und je weniger andere Reize es gibt, die sich in einem anderen Merkmal stark von der Umgebung unterscheiden, desto schneller kann dieser Reiz von uns gefunden werden oder zieht sogar unsere Aufmerksamkeit auf sich (Theeuwes, 1992). Wenn ein Zielreiz sich in einem Merkmal stark von der Umgebung unterscheidet, ist es für die Suchdauer irrelevant wie viele andere Reize sich in der visuellen Szene befinden. Der Zielreiz wird immer gleich schnell gefunden. Dies deutet auf einen parallelen Suchvorgang hin (Treisman & Gelade, 1980). Wenn sich Reize in der Umgebung befinden, welche dem Zielreiz in jeweils einer Dimension gleichen, aber nicht mit ihm identisch sind, müssen zwei oder mehr Merkmale zur Identifikation genutzt werden. In diesem Fall steigt die Suchdauer mit Anzahl der ähnlichen Ablenkungsreize an, was auf eine serielle Suche hindeutet (Treisman & Gelade, 1980). Damit ein Zielreiz gut und schnell wahrnehmbar ist, muss er sich also deutlich in einem einzigen Merkmal von der Umgebung unterscheiden.

Abrupte Veränderung Besonders stark reagieren wir auf plötzliches Erscheinen (Jonides, 1981; Lambert et al., 1987; Remington et al., 1992) oder Verschwinden (J. Miller, 1989) von Reizen. Meist erfolgt dann eine Orientierungsreaktion durch Blickzuwendung in die entsprechende Richtung (Irwin et al., 2000). Durch gezielte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf ein anderes Merkmal, kann diese automatische Reaktion jedoch stark unterdrückt werden, so dass abrupte Veränderungen in einem anderen Merkmal nicht ablenken (Folk, Remington & Wright, 1994). Allerdings gilt dies vorwiegend für im zentralen Blickfeld dargebotene Reize. Eine Reaktion auf periphere Reize kann schwerer unterdrückt werden (Jonides, 1981). Eine abrupte Veränderung ist also ein gutes Mittel, um Aufmerksamkeit zu lenken. Sie ist besonders effektiv, wenn sie im peripheren Gesichtsfeld eingesetzt wird.

Neuheit Ein weiterer Faktor, welcher die Sichtbarkeit beeinflusst, ist die Bekanntheit eines Reizes. Neue Reize sind auffälliger und werden schneller gefunden, als bekannte Reize. So wird ein auf den Kopf gestellter Buchstabe unter aufrecht stehenden schneller gefunden, als ein aufrecht stehender Buchstabe unter auf den Kopf gestellten (Reicher, Snyder & Richards, 1976; Richards & Reicher, 1978). Je bekannter ein neuer Reiz wird, desto schwächer wird die Reaktion auf ihn (Li, Miller & Desimone, 1993). Auch neue Reize ziehen also die Aufmerksamkeit auf sich. Dieser Effekt nimmt jedoch ab, je länger ein Mensch einem Reiz ausgesetzt ist.

Darbietungspause Im Zusammenhang mit der Theorie über ortsgebundene Aufmerksamkeit wurde eine interessante Entdeckung gemacht: Wenn ein Zielreiz kurz nach einem Ablenkungsreiz am selben Ort dargeboten wird, ist die Wahrnehmung des Zielreizes bei einer Pause von weniger als 0.5 s beeinträchtigt (Welford, 1952). Dieser Effekt ist umso stärker, je kürzer der zeitliche Abstand zwischen beiden Darbietungen ist. Er wurde als Psychologische Refraktärperiode bekannt. Ein Ort, der gerade beachtet wurde, kann also nicht gleich wieder beachtet

werden. Wenn man Aufmerksamkeit gezielt lenken möchte, sollte man vermeiden den Zielreiz dort darzubieten, wo kurz vorher eine andere Veränderung stattfand.

Fazit zur visuellen Aufmerksamkeit Insgesamt ergibt sich aus der Grundlagenforschung folgende Anleitung: Wenn man einen Reiz maximal auffällig gestalten möchte, um das Verhalten einer Person zu beeinflussen, sollte der Reiz so beschaffen sein, dass er neu ist (Reicher et al., 1976; Richards & Reicher, 1978), plötzlich erscheint oder verschwindet (Jonides, 1981; Lambert et al., 1987; Remington et al., 1992; J. Miller, 1989) und sich in einem Merkmal stark von der Umgebung unterscheidet (Theeuwes, 1992). Er sollte nicht an einem Ort dargeboten werden, an dem vor 0.5 s ein anderer auffälliger Reiz zu sehen war (Welford, 1952) und er sollte selten dargeboten werden (Li et al., 1993).

2.3 Periphere Wahrnehmung

In dieser Arbeit wird mit der Unscharfen Warnung eine neuartige Anzeige untersucht, die überwiegend peripher wahrgenommen werden soll. Dies ist das Kernmerkmal, in dem sie sich von bisherigen Anzeigekonzepten unterscheidet. Damit dieser Prozess funktioniert, müssen bei der Gestaltung der Anzeige die besonderen Merkmale peripheren Sehens beachtet werden. Diese werden im Folgenden zusammengefasst. Aufgrund des Umfangs der Erkenntnisse auf diesem Gebiet kann im Rahmen dieser Arbeit keine erschöpfende Darstellung erfolgen. Stattdessen werden auszugsweise die für die Arbeit relevanten Erkenntnisse berichtet. Eine ausführlichere Beschreibung findet sich bei Yu (2010).

Ein wichtiger Aspekt für die Gestaltung einer peripheren Warnung im Fahrzeug ist die menschliche Farbwahrnehmung in der Peripherie. Während symbolhafte Displays einen hohen Kontrast aufweisen sollten, um die Lesbarkeit zu erhöhen, muss eine symbolfreie Unscharfe Warnung andere Dimensionen nutzen, um Botschaften zu vermitteln. Die farbliche Gestaltung der Anzeige bietet gemeinsam mit Größe, Helligkeit und Animation viele Möglichkeiten um Fahrer ohne Symbole zu informieren und zu warnen. Im Folgenden wird auf die Wirksamkeit und Gestaltung dieser verschiedenen Aspekte für eine periphere Wahrnehmung im Fahrzeug eingegangen. Streng genommen muss allerdings beachtet werden, dass die Wirkung dieser verschiedenen Aspekte auf die periphere Wahrnehmung nicht konstant ist. Tatsächlich verändert sich diese nach Fahrerfahrung und aktueller Beanspruchung. Daher wird auch auf diese Zusammenhänge kurz eingegangen. Zusätzlich wird beschrieben, welche Rolle periphere Sicht bereits heute, auch ohne Unscharfe Warnungen, für das Autofahren spielt und wie Fahrer ihre Umwelt normalerweise betrachten.

Da sich die Größe eines Reizes auf der Retina mit der Entfernung zum Auge verändert, werden Entfernung und Größe von visuellen Reizen oft in Winkeln angegeben, die sich auf die sichtbare Fläche im Auge beziehen. So beschreibt die Exzentrizität, wie weit ein Reiz in der Peripherie liegt. Sie gibt den Winkelabstand des Reizes zum mit der Fovea fixierten Bereich an. Ähnlich dazu kann die Größe eines Reizes in dem Winkelbereich angegeben werden, den er abdeckt, wenn man vom oberen und unteren Ende zwei gerade Linien zum Auge des Betrachters ziehen würde, so dass diese sich in der Linse schneiden. Dieser Bereich wird als Sehwinkel bezeichnet.

Unter Peripherie wird im Folgenden der Bereich auf der Retina außerhalb der Fovea verstanden. Dieser beginnt ab einer Exzentrizität von ca. 3° vom Fixationspunkt (Purves & Williams, 2004). Das bedeutet, dass alles zur Peripherie zählt, was für uns sichtbar ist, aber gerade nicht direkt angeschaut wird. Die in dieser Arbeit verwendete LED-Leiste wurde an der Scheibenwurzel montiert und befindet sich somit ca. 4° entfernt vom fovealen Blickpunkt, wenn gerade auf die Straße geschaut wird (Lamble, Laakso & Summala, 1999). Das bedeutet, dass die LED-Leiste sich in einer gewöhnlichen Fahrsituation im peripheren Gesichtsfeld befindet.

Farbsehen in der Peripherie Wie schon in Abschnitt 2.1 erwähnt ist die Wahrnehmung im peripheren Gesichtsfeld nur niedrig räumlich aufgelöst. Eine weitere Besonderheit ist die Sichtbarkeit von Farben in der Peripherie. Während wir im Bereich der Fovea alle Farben einer Wellenlänge von ca. 400 nm (Blau) bis 700 nm (Rot) wahrnehmen können, nimmt die Sichtbarkeit der verschiedenen Farben zur Peripherie hin ungleichmäßig ab (Woodson & Conover, 1964). Sortiert man die Farben nach Anteil ihrer Sichtbarkeit im gesamten Gesichtsfeld, erhält man folgende Reihenfolge (Tabelle 2.1):

Rang	Farbe	Nasal	Temporal	Gesamt
1	Weiß	60°	90°	150°
2	Blau	33°	65°	98°
3	Gelb	25°	50°	75°
4	Rot	15°	50°	65°
5	Grün	10°	50°	60°

Tabelle 2.1: Sichtbarkeitsverteilung von Farben im Gesichtsfeld des menschlichen Auges. Erstellt aus den Daten von Woodson und Conover (1964). Angegeben wird der Bereich in dem eine Farbe gesehen werden kann, relativ zur Fovea in Richtung Nase (nasal) oder Schläfe (temporal).

Während die Farben Weiß und Blau noch sehr weit in der Peripherie wahrgenommen werden können, sind die Farben Rot und Grün nur in einem kleinen Bereich um die Fovea herum sichtbar. Sivak, Flannagan, Miyokawa und Traube (1999) haben insbesondere die für den Verkehr relevanten Farben Rot und Gelb bezüglich ihrer Wahrnehmbarkeit in der Peripherie untersucht. Während bei Dunkelheit alle Reize im Bereich von 0-30° vom Fixationspunkt gut wahrgenommen werden konnten, wurden beide Farben bei Tageslichtbedingungen schlechter wahrgenommen (Sivak et al., 1999). Wie aus den Ergebnissen von Woodson und Conover (1964) zu erwarten, war dieser Effekt für die roten Reize intensiver, als für die gelben (Sivak et al., 1999).

Für diese Arbeit ist erwähnenswert, dass bei einem geraden Blick auf die Straße im Bereich unter der Frontscheibe noch alle Farben erkannt werden können. Der kleinste Sichtbereich der Farbe Grün geht bis zu einer Exzentrizität von 10° temporal und 50° nasal (Woodson & Conover, 1964). Wie bereits oben erwähnt, liegt die Position der Scheibenwurzel ungefähr bei einer Exzentrizität von 4° und fällt somit noch in diesen Bereich. Das bedeutet, dass für die in dieser Arbeit verwendete Position der Unscharfen Warnung keine Einschränkungen in der Farbwahrnehmung bestehen, obwohl die Anzeige in der Peripherie liegt. Grundsätzlich allerdings sollten periphere Lichtreize die Farbe Weiß oder Blau haben damit sie auch in der äußeren Peripherie gut sichtbar sind.

Einfluss von Farbe, Form, Blinken und Größe Aus der Grundlagenforschung wissen wir, wie Reize gestaltet sein müssen, damit sie auffallen (vgl. Kapitel 2.2.3). Doch was bedeutet das für die Gestaltung eines realen Assistenzsystems? Lassen sich die Erkenntnisse direkt auf den Anwendungsfall übertragen oder gibt es hier Umstände die berücksichtigt werden müssen? Wie muss eine periphere Warnung in einer typischen Fahrsituation gestaltet sein, damit schnell auf sie reagiert werden kann? Diesen Fragen haben sich Werneke und Vollrath (2011) gewidmet. Um periphere Reize standardisiert in einem dem Automobilkontext angepassten Paradigma zu untersuchen, entwickelten sie die Signal Evaluation Environment (SEE). In diesem experimentellen Aufbau wird sehr abstrakt das Szenario des Rechtseinbiegens aus einer Neben- auf eine Hauptstraße simuliert. Ein typischer Fahrfehler in der äquivalenten realen Situation ist, dass Fahrer beim Einbiegen vorfahrtsberechtigten Verkehrsteilnehmer übersehen (Summala, Pasanen, Räsänen & Sievänen, 1996). Dies scheint vor allem daran zu liegen, dass die Fah-

rer ihre Aufmerksamkeit regelmäßig auf die links von ihnen querenden Fahrzeuge ausrichten und dabei einen möglichen Radfahrer, der von rechts kreuzt, übersehen (Räsänen & Summala, 1998). Genau dieser Aspekt der Aufmerksamkeitsverteilung wird vom SEE simuliert (Werneke & Vollrath, 2011). Probanden müssen primär auf Reize achten, die direkt vor (Abbildung 2.3, A-1) und links von ihnen (Abbildung 2.3, A-2) dargeboten werden, aber gelegentlich auch auf einen sekundären Reiz reagieren, welcher im peripheren Gesichtsfeld rechts unten vor ihnen (Abbildung 2.3, A-3) dargeboten wird. Gemessen wurde die Reaktionszeit auf den sekundären Reiz. Werneke und Vollrath (2011) haben nun verschiedene periphere Reize untersucht, die sich in Farbe, Form und Größe unterschieden (Abbildung 2.3, B). Generell reagierten die Probanden schneller auf größere Reize. Außerdem zeigte sich ein Unterschied zwischen den untersuchten Farben, allerdings nur bei kleinen Reizgrößen von 1° Sehwinkel, nicht bei 5° Sehwinkel. Hier wurde auf graue und rote Reize langsamer reagiert, als auf blaue, grüne und weiße. Es stellte sich heraus, dass die Form keinen Einfluss auf die Reaktionszeit hatte und es wurden keine Unterschiede durch bloßes Erscheinen oder verschiedene Blinkfrequenzen gefunden (Werneke & Vollrath, 2011).

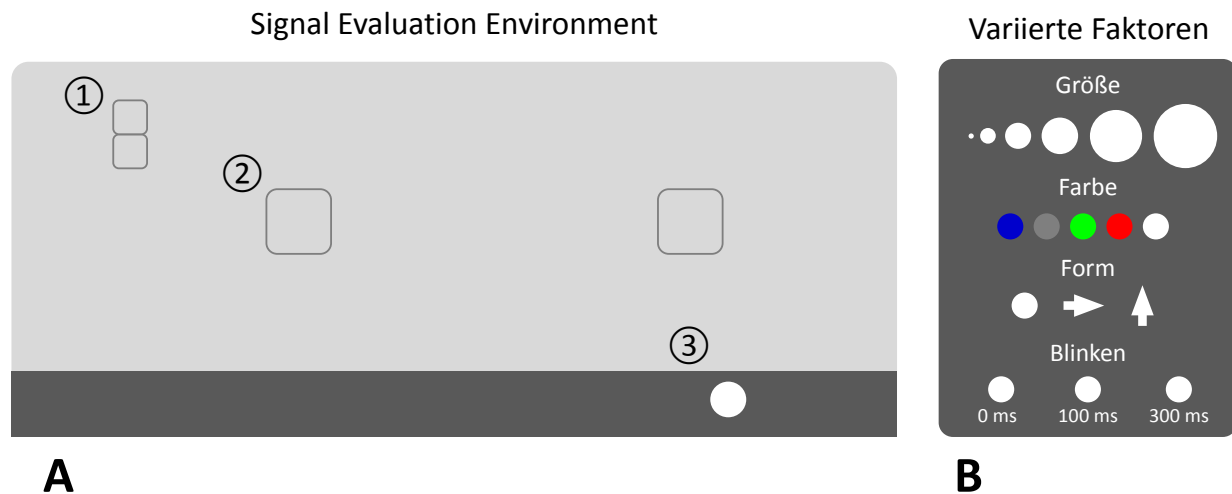


Abbildung 2.3: Die von Werneke und Vollrath (2011) verwendete SEE (A) repräsentiert auf stark vereinfachte Weise den Blick aus einem Fahrzeugcockpit (dunkler Bereich) auf die Straße (heller Bereich). Die Fahrer müssen Reize an verschiedenen Positionen gleichzeitig beachten (1, 2), genau wie beim Abbiegen in einer Kreuzung. Um das optimale Warnsignal für eine solche Situation zu bestimmen, wurde die Reaktionszeit auf zusätzlich im dunklen Bereich präsentierte Reize gemessen (3). Es wurden sowohl die Reizgröße, Farbe, Form und die Blinkfrequenz der untersuchten peripheren Reize variiert (B). Die Abbildung gibt den Aufbau der Aufgabe schematisch wieder.

Bewegungswahrnehmung in der Peripherie Ein Aspekt, welcher in der Arbeit von Werneke und Vollrath (2011) nicht untersucht wurde, war die periphere Bewegungswahrnehmung. Grundsätzlich nehmen wir Bewegung in der Peripherie wahr, wenn sie eine Strecke von mehr als 0.15°/s zurücklegt (Summala, Lamble & Laakso, 1998; Lamble et al., 1999). Doch die visuelle Bewegungswahrnehmung des Menschen ist nicht gleichmäßig über das Sichtfeld verteilt.

Lamble et al. (1999) untersuchten in Abhängigkeit zu verschiedenen starken Blickabwendungen von der Straße, wie schnell Probanden die Verlangsamung eines vorausfahrenden Fahrzeuges bemerkten. Sie stellten fest, dass die Geschwindigkeitsänderung mit zunehmender Exzentrizität später bemerkt wurde. Lappin, Tadin, Nyquist und Corn (2009) haben sich noch intensiver mit dem Thema auseinandergesetzt und untersuchten die visuellen Wahrnehmungsgrenzen für unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten in Zusammenhang mit Exzentrizität über das

gesamte Sichtfeld. Sie konnten zeigen, dass bei niedrigen Geschwindigkeiten von unter $0.5^\circ/\text{s}$ schneller auf zentral dargebotene Reize reagiert wurde. Bei schnellen Bewegungen von über $0.5^\circ/\text{s}$ wurden Reize in der Peripherie früher erkannt. Darüber hinaus fanden Fahle und Wehrhahn (1991), dass in der temporalen Peripherie, also der nach außen zeigenden Seite unseres Sichtfeldes, Bewegungen etwas besser erkannt wurden, als in der nasalen Peripherie. Weiterhin wurden in der Peripherie nach Außen strebende Bewegungen besser erkannt als nach Innen strebende (Fahle & Wehrhahn, 1991).

Generell scheint periphere Sicht im unteren Gesichtsfeld besser zu funktionieren als im oberen (He, Cavanagh & Intriligator, 1996). Weiterhin können Menschen an bewegte visuelle Reize besonders schnell adaptieren, wenn diese weiter in der Peripherie liegen (70° Exzentrizität) und sich langsam bewegen (0.05 Umdrehungen pro Sekunde) (Hunzelmann & Spillmann, 1984).

Zusammengenommen sprechen diese Befunde dafür, dass eine periphere Warnung an der Frontscheibenwurzel im unteren Gesichtsfeld gut platziert ist. Sollte die Anzeige hier animiert sein, wären bereits langsame Bewegungen gut sichtbar.

Einschränkungen der peripheren Sicht Neben der Grundsätzlichen Fähigkeit Farbe, Formen und Bewegung in der Peripherie wahrnehmen zu können, wird periphere Sicht auch durch psychologische Faktoren, wie der Fahrerfahrung beeinflusst. Erfahrene Fahrer nutzen peripheres Sehen mehr als Fahranfänger, indem Sie einen weiteren Bereich in der Peripherie während der Fahrt nutzen (Mourant & Rockwell, 1972). Und dieses Verhalten scheint sich direkt auf die Wahrnehmungsqualität auszuwirken: So konnten Crundall, Underwood und Chapman (2002) zeigen, dass erfahrene Fahrer periphere visuelle Reize besser wahrnehmen, als Fahranfänger. Dies galt für kritische und unkritische Situationen.

Ein anderer Faktor, welcher die periphere Sicht beeinträchtigen kann, ist die aktuelle Beanspruchung der Probanden. Crundall et al. (2002) zeigten Probanden eine Videoaufzeichnung von einer Autofahrt aus der Fahrerperspektive und gaben ihnen die Aufgabe, auf potentiell gefährliche Situationen zu achten und darauf mit einem Pedaldruck zu reagieren. Außerdem wurden gleichzeitig immer wieder Reize im peripheren Sichtfeld präsentiert, auf die mit einem Mausklick reagiert werden musste. Sie variierten den zeitlichen Abstand zu den kritischen Ereignissen. Es zeigte sich, dass die Probanden auf die peripheren Reize um so schlechter reagierten, je kürzer der Abstand zu einem kritischen Ereignis war. Am niedrigsten war die Erkennungsrate kurz vor dem kritischen Ereignis (ca. 1 s). Hier wurde ein peripherer visueller Reiz im Vergleich zu 4 s vor oder nach dem kritischen Ereignis um ein Fünffaches schlechter wahrgenommen (Crundall et al., 2002).

In einem ähnlichen Versuch von Chapman und Underwood (1998) wurden die Augenbewegungen von Probanden in kritischen und unkritischen Verkehrssituationen erfasst. Auch hier zeigte sich, dass sich der horizontale und vertikale Blickbereich der Fahrer in einer gefährlichen Situation verkleinerte und einzelne Objekte länger fixiert wurden. Wenn wir im Straßenverkehr auf eine kritische Situation reagieren müssen,engt sich unser Sichtfeld also ein und wir nehmen periphere Reize schlechter wahr.

Diese Befunde deuten darauf hin, dass erfahrene Fahrer stärker von einer Unschärfe Warnung profitieren sollten, als Fahranfänger. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass die Wahrnehmung der Unschärfe Warnung vermindert ist, wenn sie zeitgleich zu einem kritischen Ereignis dargeboten wird. Dies gilt allerdings auch für symbolhafte Warnungen, wenn diese sich in einer kritischen Situation gerade im peripheren Sichtfeld des Fahrers befinden. Um diese Einschränkung zu vermeiden, sollten Anzeigen, welche sich zum Zeitpunkt eines kritischen Ereignisses im peripheren Sichtfeld der Fahrer befinden entweder frühzeitig (>1.5 s) vor dem Eintreten der kritischen Situation dargeboten werden oder besonders auffällig gestaltet sein.

Bedeutung der peripheren Sicht für das Fahren Wenn wir während der Autofahrt auf die Straße schauen, ist es offensichtlich, dass wir gezielt unser foveales Sehen nutzen, um die für uns wichtigen Objekte der Fahrsituation und Umwelt scharf wahrzunehmen. Doch welche Rolle spielt unsere periphere Wahrnehmung in diesem Moment? Wie wir bereits gelernt haben, sehen wir im Augenwinkel nur unscharf, sind jedoch sensitiv für Bewegungen und auffällige Reize die sich in einem Merkmal stark vom Hintergrund unterscheiden. Dies führt vor Allem dazu, dass wir mit Hilfe des peripheren Sehens unsere Aufmerksamkeit auf potentiell relevante Reize ausrichten. Doch periphere Sicht hat beim Autofahren noch eine weitere wichtige Funktion: Wenn Autofahrer den Blick für einen Moment von der Straße ablenken, nutzen sie das periphere Gesichtsfeld zur Spurhaltung (Summala, 1998). Besonders routinierte Fahrer mit mehr als 100 000 km Gesamtfahrerfahrung können, ohne die Spur zu verlassen, eine längere Strecke mit abgewendetem Blick zurück legen als Fahranfänger mit nur 10 000 km Gesamtfahrerfahrung (Summala, 1998).

Allerdings verschlechtert sich die Fahrleistung mit zunehmendem Abstand vom fovealen Sichtbereich, wenn die Fahraufgabe nur durch periphere Sicht ausgeführt wird (Summala, Nieminen & Punto, 1996; Summala, 1998). Die periphere Sicht spielt also besonders bei Blickabwendungen von der Straße eine wichtige Rolle, und zwar bei der Spurhaltung. Außerdem wird sie mit zunehmender Fahrerfahrung auch intensiver genutzt. Doch auch wenn die periphere Sicht das Spurhalten unterstützt, ist die direkte Sicht immer noch überlegen, wenn es um Gefahrenerkennung geht. Wird ein plötzlich bremsendes Vorderfahrzeug nur aus dem Augenwinkel gesehen, wird bei zunehmender Exzentrizität langsamer darauf reagiert (Summala et al., 1998; Lambale et al., 1999). Das foveale Sehen hat hier aufgrund seiner viel höheren räumlichen Auflösung einen klaren Vorteil gegenüber dem peripheren Sehen.

Peripheres Sehen bei Nebenaufgaben Auch in unkritischen Situationen fällt uns die Fahrzeugführung leichter, wenn wir die Straße vor uns direkt sehen können. Zschoernack, Göbel, Treugut und Yoo (2010) konnten zeigen, dass die Spurhaltung in einer Simulatorfahrt um so stärker beeinträchtigt wurde, je weiter eine gleichzeitig auszuführende Leseaufgabe von der direkten Sichtlinie auf die Straße entfernt lag. Horrey und Wickens (2004) verglichen gezielt zwei typische Displaypositionen in einer ähnlichen Aufgabe miteinander und stellten fest, dass die Fahrer eine größere Spurhaltungsvarianz zeigten, wenn die Informationen auf einem Head-Down Display dargeboten wurden, als wenn diese per Head-Up Display in der Scheibe gezeigt wurden. Für die Betrachtung des Head-Down Displays musste der Blick von der Straße abgewendet werden.

Wenn wir also aufgrund einer Nebenaufgabe unseren Blick von der Straße abwenden, sei es nun ein Blick auf den Tacho, auf das Radio oder eine Karte, ist unsere Fahrzeugkontrolle und Reaktionszeit auf potentielle Gefahren beeinträchtigt. Und zwar um so stärker, je weiter wir unseren Blick von der Straße abwenden. Es ist daher um so wichtiger darauf zu achten, dass Tätigkeiten, die während der Fahrt ausgeführt werden, den Blick so wenig wie möglich von der Straße ablenken. Es mag sein, dass ein Fahrzeug auch kurze Zeit aus den Augenwinkeln auf der Spur gehalten werden kann, doch wenn genau im Moment der Blickabwendung ein kritisches Ereignis geschieht, sind wir in unserer Reaktionsfähigkeit stark eingeschränkt.

Blickverhalten im Fahrzeug Wohin schaut ein Fahrer normalerweise während der Fahrt? Neben den Vor- und Nachteilen peripherer und zentraler Sicht ist auch das Blickverhalten der Fahrer für die optimale Darbietung von Fahrerinformationen relevant.

Um ihre Umwelt möglichst umfassend wahrzunehmen, fixieren Fahrer unter natürlichen Bedingungen etwa drei Ziele pro Sekunde (Mourant & Rockwell, 1970). Normalerweise werden die eigene Fahrbahn, Fahrzeuge und Verkehrszeichen fixiert, aber auch Blicke ins Fahrzeug kommen gelegentlich vor. Die Fahrer scheinen selbst ein intuitives Verständnis von der Gefahr zu

haben, die mit einer längeren Blickabwendung von der Straße verbunden ist. Denn wenn sie eine Nebenaufgabe ausführen, wenden sie unabhängig von der Komplexität der Aufgabe den Blick im Durchschnitt nur für etwa 1 s von der Straße ab (Gellatly & Kleiss, 2000). Um eine anspruchsvolle Nebenaufgabe zu bewältigen, erhöhen sie die Blickhäufigkeit zur Nebenaufgabe anstelle der Blickabwendungsdauer (Gellatly & Kleiss, 2000). Dadurch verlängert sich allerdings auch die Gesamtdauer der Interaktion und ein negativer Effekt der Ablenkung durch die Nebenaufgabe wird nicht verhindert. Trotz häufigem Blickwechsel erhöht sich die Unfallgefahr bei anspruchsvolleren Nebenaufgaben (Wierwille & Tijerina, 1998).

Fazit zur peripheren Wahrnehmung Welche Bedeutung haben die besonderen Eigenschaften der peripheren Wahrnehmung nun auf die Gestaltung einer Anzeige? Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die periphere Wahrnehmung bereits heute während der Fahrt genutzt wird und zwar besonders, wenn der Blick doch einmal von der Straße abgewendet wird (Summala, 1998). Erfahrene Fahrer nutzen ihre periphere Sicht effektiver, als Fahranfänger (Summala, 1998). Je nachdem, wie weit ein Signal in der Peripherie dargeboten wird, spielt die Farbgestaltung eine Rolle für die Sichtbarkeit (Woodson & Conover, 1964). Am besten werden weiße und blaue Signale wahrgenommen (Woodson & Conover, 1964). Außerdem haben Reizgröße und Bewegungsrichtung peripherer Reize einen Einfluss auf Reaktionszeiten. Große Reize werden besser wahrgenommen als kleine (Werneke & Vollrath, 2011) und es gibt eine ungleichmäßige Verteilung der Bewegungswahrnehmung in unserem Gesichtsfeld (Fahle & Wehrhahn, 1991). Wir nehmen bereits sehr langsame Bewegungen aus dem Augenwinkel wahr, reagieren allerdings besser auf schnelle Bewegungen (Summala et al., 1998; Lambale et al., 1999). In einer kritischen Situation verengt sich unser Sichtfeld und periphere Reize werden schlechter wahrgenommen (Crundall et al., 2002).

3 Bisherige Erkenntnisse zur Unscharfen Warnung

Nachdem die biologischen Grundlagen des Sehens, der visuellen Aufmerksamkeit und Kernmerkmale der peripheren Wahrnehmung beschrieben worden sind, soll nun ein Überblick über bisherige empirische Befunde zu konkreten Umsetzungen peripherer Warnsysteme gegeben werden. Unter einer peripheren Warnung wird in dieser Arbeit grundsätzlich jedes Warnkonzept verstanden, dass darauf ausgelegt ist, aus der visuellen Peripherie wahrgenommen zu werden. Obwohl das Konzept noch recht neu ist, gibt es bereits einige Ansätze zur Umsetzung. Da es bisher nur wenige Studien gibt, die sich mit peripheren Warnungen im Fahrzeug beschäftigen, werden hier auch ähnliche Konzepte mit einbezogen, die im strengen Sinne keine periphere Warnung darstellen.

3.1 Periphere Nachtsicht

Das erste Konzept einer peripheren Warnung in Form einer LED-Leiste wurde von Mahlke, Rösler, Seifert, Krems und Thüring (2007) im Rahmen eines Vergleichs von sechs verschiedenen Nachtsichtsystemen vorgestellt. Fünf der Anzeigen bestanden aus Displays, die direkt hinter dem Lenkrad (Head-Down) oder über dem Lenkrad an der Scheibe (Head-Up) platziert waren (Abbildung 3.1, rechts). Die sechste Anzeige bestand aus einer LED-Leiste, die an der Scheibenwurzel im Bereich hinter dem Lenkrad angebracht war (Abbildung 3.1, links). Im nächtlichen Realversuch wurde untersucht, wie gut die Anzeigen die Fahrer dabei unterstützen, Fußgänger am Straßenrand zu erkennen. Ausgewertet wurden die Anzahl korrekter Identifikationen, die Erkennungszeit und -distanz. Zusätzlich wurden die subjektive Belastung und das Blickverhalten gemessen.

Die auf Displays basierenden Systeme zeigten ein einfaches Videobild der nächtlichen Szenerie vor dem Fahrzeug an, welches anhand von Nah- oder Ferninfrarotsensorik generiert wurde. Die LED-Leiste hingegen zeigte die Richtung der Fußgänger in Form eines schmalen gelben Lichtbalkens an. Sie war der in dieser Arbeit genutzten LED-Leiste, bis auf die Größe und Farbe, sehr ähnlich. Insgesamt nutzen zwei Systeme die Nah- und vier die Ferninfrarotsensorik. Die LED-Leiste gehörte zu der Gruppe der Systeme, welche auf Ferninfrarot basierten. Sowohl eines der Displays, als auch die LED-Leiste, arbeiteten mit einer automatischen Fußgängererkennung. Diese hob im Falle des Displays die Fußgänger durch einen Kastenumrahmung hervor und war im Falle der LED-Leiste notwendig, um die Richtung der potentiellen Gefahr ermitteln zu können. Die anderen vier Systeme verfügten über keine Hervorhebung und zeigten nur das Nachtsicht-Videobild an.

Von allen untersuchten Systemen lag die Erkennungsrate der Fußgänger bei der LED-Leiste am nächsten an der Kontrollbedingung ohne Anzeige. Bei der Erkennungsdistanz lagen die beiden Nahinfrarotsysteme und die LED-Leiste als einzige Systeme über der Erkennungsdistanz der Kontrollbedingung. Allerdings wurde keiner dieser Unterschiede signifikant. Hingegen wurden die Fußgänger mit der LED-Leiste oder einem eingespiegelten HUD im Schnitt 3.5 s früher erkannt, als mit drei anderen Systemen. Die mentale Belastung wurde mit dem NASA-TLX Fragebogen gemessen. Hier zeigte sich, dass nur zwei Systeme sich nicht signifikant von der Kontrollbedingung unterschieden: das nahinfrarot Head-Down Display und die LED-Leiste. Diese



Abbildung 3.1: Zwei der in dem Versuch von Mahlke et al. (2007) verwendeten Anzeigen. Die LED-Leiste (links) und ein exemplarisches Display (rechts). Die Verwendung der Abbildung erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Sage Journals.

beiden Systeme wurden subjektiv als am wenigsten belastend empfunden. Weiterhin wurden die Blickbewegungen während der Fahrt erfasst. Es stellte sich heraus, dass die LED-Leiste hier deutlich seltener angeschaut wurde (6 %) als die auf Videobildern basierenden Systeme (11 %-18 %).

In der Studie von Mahlke et al. (2007) konnte nicht gezeigt werden, dass eines der Systeme die Fahrer im Vergleich zur Kontrollbedingung signifikant unterstützt hat. Schaut man sich jedoch die Unterschiede der Systeme untereinander an, fällt auf, dass die LED-Leiste zu den höchsten Erkennungsraten und den kürzesten Erkennungszeiten beigetragen hat. Dabei ist die subjektiv empfundene Ablenkung sehr gering. Doch besonders hebt sie sich von den anderen Anzeigen dadurch ab, dass die Fahrer trotz tendenziell besserer Unterstützung den Blick nur halb so oft von der Fahrbahn abgewendet haben.

Die Ergebnisse deuten auf einen Vorteil der LED-Leiste im Vergleich zu Display basierten Assistenzsystemen hin. Besonders die festgestellte geringe Blickabwendung von der Straße unterstützt die Hypothese, dass die LED-Leiste aufgrund ihrer symbolfreien Darbietungsweise peripher wahrgenommen wird.

3.2 Periphere Kollisionswarnung

Die Wirkung einer LED-Leiste als Assistenzsystem zur Gefahrenwarnung wurde auch bereits in einem Kollisionsszenario untersucht. Fricke (2009) beschäftigte sich in ihrer Arbeit mit semantisch angereicherten Warnungen. Darunter versteht sie Warnungen, die nicht nur auf das Vorhandensein einer Gefahr hinweisen, sondern zusätzlich über weitere Merkmale informieren. Im Falle der LED-Leiste informierte die Warnung frühzeitig über einen sich nähernden Fahrradfahrer oder ein plötzlich bremsendes vorausfahrendes Fahrzeug (Abbildung 3.2). Zusätzlich wurde die Richtung der Gefahr über die Position des Lichtsignals auf der Leiste mitgeteilt. Es handelt sich hier somit um eine gerichtete Warnung, wie in dem zuvor beschriebenen Versuch von Mahlke et al. (2007). Untersucht wurden drei unabhängige Variablen: LED-Warnung (mit/ohne), die Art einer auditiven Warnung (Auditory Icon/Ton) und die Reihenfolge der Szenariosequenz (Auto->Fahrrad/Fahrrad->Auto). Es gab daher sowohl in der Bedingung mit als auch ohne LED-Leiste einen Warnton. Eine Kontrollbedingung ohne Warnung wurde nicht untersucht. Gemessen wurden die Reaktionszeit auf die Gefahr, der Minimalabstand zum Gefahrenobjekt und die Anzahl der Kollisionen.

Die Warnungen lösten in der Fahrradsituation bei einer Time To Collision (TTC) von 3-4 s



Abbildung 3.2: Fricke (2009) verwendete zwei Gefahrensituationen. Ein plötzlich auftauchenden Radfahrer (links). Ein plötzlich bremsendes Fahrzeug (rechts). Die Verwendung der Abbildungen erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Nicola Fricke.

aus. Eine Besonderheit der Studie war, dass die Warnung bereits 1 s bevor der Fahrradfahrer sichtbar wurde auftrat. Das System verfügte somit über die Information der Position eines verdeckten Verkehrsteilnehmers und zeigte diese frühzeitig in Form eines mitlaufenden Lichts an. Dies ist zwar eine sehr wünschenswerte, aber leider im Moment noch nicht praktisch umsetzbare Voraussetzung. Sie könnte in Zukunft über Echtzeit-Kommunikationssysteme erreicht werden, die verschiedene Verkehrsteilnehmer miteinander verbinden. Die Warnung vor dem plötzlich bremsenden Vorderfahrzeug erfolgte zum Zeitpunkt der Bremsung. Die Bremslichter des Fahrzeugs funktionierten in dieser Situation nicht. Die Fahrer konnten sich also ausschließlich am Abstand zum Vorderfahrzeug und der Warnung orientieren. In beiden Szenarien zeigte sich ein signifikanter Vorteil für die Warnungen mit LED-Leiste und Ton im Vergleich zu Warnungen nur mit Ton. Die Reaktionszeit auf den Fahrradfahrer war mit Leiste im Schnitt 135 ms, die auf das bremsende Fahrzeug im Schnitt 371 ms schneller als ohne Leiste. Im Fahrradszenario war der Mindestabstand zum Gefahrenobjekt mit Leiste im Schnitt 148 cm größer als ohne Leiste. Die Warnkombination LED-Leiste und Warnton hat somit die Reaktion der Fahrer gegenüber einer Warnung nur mit Warnton beschleunigt und den Bremsweg verkürzt.

3.3 Multimodaler Warnbaukasten

Den bisher am weitesten entwickelten Ansatz zur Integration einer LED-Leiste in ein Warnsystem haben Maier, Hellbrück, Sacher, Meurle und Widmann (2011) vorgestellt. In ihrer Arbeit präsentieren die Autoren ein baukastenartiges Warnsystem mit mehreren Warnmodalitäten, die je nach Gefahrensituation kombiniert werden, um die effektivste Fahrerreaktion zu provozieren. In vier Studien wurden multimodale Warnkonzepte untersucht. Ein visuell peripheres Warnelement, das dem in dieser Arbeit verwendeten System sehr ähnlich ist, wurde dabei durch eine rot leuchtende LED-Leiste an der Scheibenwurzel umgesetzt. Maier et al. (2011) untersuchten die Effektivität des Systems in Form von Reaktionszeiten, indem sie dieses entweder alleine oder kombiniert mit einem Bremsruck oder einem Warnton darboten.

In der ersten Studie wurde das Vehicle-in-the-loop Paradigma verwendet (Bock, Maurer & Färber, 2007). Die Probanden fuhren hier in einer virtuellen Realität, die über ein abschließendes Head-Mounted-Display vermittelt wurde, befanden sich jedoch gleichzeitig in einem realen Fahrzeug. Dadurch konnten sowohl beliebige Versuchsbedingungen gefahrlos hergestellt

und dennoch ein realistisches haptisches Fahrgefühl beibehalten werden. Unter den unimodalen Warnungen wurde am schnellsten auf einen Bremsruck reagiert. Am zweitschnellsten reagierten die Probanden auf die Warnung per LED-Leiste oder Warnton. Hier gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Bedingungen. Die Reaktion auf eine LED-Leiste oder einen Warnton war signifikant schneller als auf eine Warnung, die in der Windschutzscheibe eingeblendet wurde (Maier, Sacher & Hellbrück, 2010). Am schnellsten reagierten die Fahrer allerdings auf eine multimodale Warnung. Hier zeigte sich gegenüber dem Warnton mit Bremsruck sogar ein leichter Vorteil der LED-Leiste von 93 ms, wenn diese mit einem Bremsruck kombiniert wurde. Die periphere Warnung fiel in dieser Studie dadurch auf, dass sie zwar nicht die besten Reaktionszeiten hervorrief, aber eben so gut war, wie ein klassisches System (Warnton) oder sogar besser (Einblendung in Windschutzscheibe).

In der zweiten Studie konnten Maier et al. (2011) die Ergebnisse der ersten Studie in einem Auffahrszenario mit einem Dummy-Anhänger replizieren. Die Probanden wurden in diesem Versuch abgelenkt, um das Überraschungsmoment zu erhöhen.

Während in den vorigen Studien ausschließlich aggressive Warnelemente verwendet wurden, die erst sehr kurz vor einer kritischen Situation warnten, um eine maximale Reaktion hervorzurufen, wurde in der dritten Studie zusätzlich eine frühzeitige Vorwarnung in Form einer schwach rot leuchtenden LED-Leiste eingeführt (Maier et al., 2011). Diese hatte die Aufgabe, die Fahrer auf einen möglichen bevorstehenden Eingriff vorzubereiten. Weiterhin wurden in dieser Studie auch Fehlauflösungen dieser Vorwarnung untersucht. Als Hauptwarnungen wurde wieder ein Warnton und eine diesmal gerichtete periphere Warnung per LED-Leiste verwendet. Die Fahrer wurden nacheinander mit verschiedenen Gefahrensituationen konfrontiert. Die Ergebnisse zeigen einen Vorteil der gerichteten LED-Warnung gegenüber dem Warnton von 457 ms unter unimodalen Bedingungen, während sich die ungerichtete periphere Vorwarnung nicht signifikant von dem Warnton unterschied. Auf die wenig zuverlässige Vorwarnung reagierten die Fahrer zögerlicher als auf die Hauptwarnung, hatten aber durch die frühe Darbietung insgesamt mehr Zeit zum Reagieren.

In der letzten Studie wurden wieder die bereits bekannten peripheren Warnkonzepte LED-Leiste und Warnton in verschiedenen Gefahrensituationen untersucht. Zusätzlich wurden diese Konzepte mit einer klassischen Warnung verglichen, die aus einer Anzeige im Kombiinstrument hinter dem Lenkrad bestand, welche von dem bekannten Warnton begleitet wurde. Grundsätzlich konnten Maier et al. (2011) die Ergebnisse aus den vorigen Studien wieder replizieren. Allerdings zeigte sich kein signifikanter Unterschied der LED-Leiste gegenüber der klassischen Anzeige im Kombiinstrument, doch es gab eine Tendenz in Richtung eines Vorteils der LED-Leiste von 141 ms.

Zusammenfassend konnten Maier et al. (2011) ähnlich wie Mahlke et al. (2007) im Vergleich mit anderen Warnsystemen eine gleich gute Wirkung der LED-Leiste mit einer Tendenz zum Vorteil nachweisen. Das bedeutet die LED-Leiste warnte stets mindestens so effektiv wie eine traditionelle Anzeige. Zieht man nun in Betracht, dass die LED-Leiste den Blick weniger auf sich zieht, als videobasierte Anzeigen (Mahlke et al., 2007), kann sich trotz gleich guter Reaktionszeit ein Vorteil der LED-Leiste einstellen. Allerdings muss die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus dem NachsichtszENARIO mit videobasierten Anzeigen auf die Tagfahrt mit symbolhaften Anzeigen noch nachgewiesen werden.

Maier et al. (2011) erwähnen außerdem, dass im Moment aufgrund der nicht einheitlichen Verwendung von Warnsignalen eine Verwirrung bezüglich des Warngrundes beim Fahrer entstehen kann. So wird ein Warnton durchaus zur Kollisionswarnung, aber auch zur Information für niedrige Füllstände beim Scheibenwischwasser oder Tank eingesetzt. Eine Trennung der Anzeigekonzepte von informativen und warnenden Systemen erscheint hier sinnvoll. Die LED-Leiste könnte diese Funktion bei gleich guter Warnleistung erfüllen (Maier et al., 2011).

3.4 Gestaltung einer peripheren Anzeige

Laquai, Rigoll, Duschl, Popiv und Rakic (2010) haben in einer Studie neue Anzeigekonzepte für Warnungen untersucht. Sie konzentrierten sich dabei darauf, möglichst großflächige Anzeigen zu verwenden, da klassische Anzeigen aufgrund der kleinen Displaygröße normalerweise nur mäßig sichtbar sind. Dabei entschieden sie sich dafür Chevrons zu verwenden. Dies sind Pfeile, die in einem gestreiften Muster angeordnet sind. Sie werden mitunter auf Straßen angebracht, um die subjektiv empfundene Geschwindigkeit zu erhöhen (Katz, 2007). Die von Laquai et al. (2010) verwendeten Chevrons wurden in Form eines HUDs in die Windschutzscheibe eingeblendet. Zusätzlich wurden LED-Streifen links und rechts neben dem Lenkrad angebracht (Abbildung 3.3).



Abbildung 3.3: Laquai et al. (2010) untersuchten zwei Anzeigekonzepte, die den Fahrer zur Geschwindigkeitsreduktion animieren sollten. Chevrons, die über ein Head-Up Display eingeblendet wurden (links) und zwei LED-Streifen, die neben dem Lenkrad befestigt waren (rechts). Die Verwendung der Abbildungen erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Florian Laquai.

Im Versuch wurden die Chevrons in Gefahrensituationen eingeblendet und bewegten sich auf den Fahrer zu. Die Animationsgeschwindigkeit sowie die Anzahl der Chevrons erhöhte sich mit dem Grad einer erforderlichen Verzögerung. Die LED-Streifen bestanden aus RGB-LEDs und konnten den Grad einer notwendigen Verzögerung in den Stufen Grün, Gelb und Rot wiedergeben, wobei Grün für eine geringe und Rot für eine starke notwendige Verzögerung stand.

Laquai et al. (2010) haben beide Konzepte anhand einer Videoaufzeichnung subjektiv von Probanden bewerten lassen. Dabei sahen die Probanden eine Autofahrt auf einer Landstraße, in der sich das Fahrzeug einmal einem verdeckten Stauende und einmal einer verdeckten Baustelle näherte. Die Probanden erlebten daraufhin die Warnsysteme, welche in drei Stufen frühzeitig auf eine notwendige Verzögerung hinwiesen.

Generell beurteilten die Probanden die Chevrons etwas positiver, als die LED-Streifen. Die frei formulierten Aussagen legen jedoch die Vermutung nahe, dass dies vor allem durch die Gestaltung der Anzeige und nicht durch das Konzept an sich zu begründen ist. Die Teilnehmer bemängelten, dass die LEDs zu grell eingestellt waren und schlugen vor diese eher als Umgebungslicht einzusetzen, als den Fahrer direkt anzustrahlen. Sie wünschten sich weiterhin weiche Übergänge zwischen den Warnstufen, sowohl in Bezug auf ein Überblenden, als auch in der zeitlichen Abfolge der Warnstufen. Interessant ist, dass die Probanden die grüne Warnstufe am liebsten weggelassen hätten. Sie wollten nur bei einer dringlichen Situation gewarnt werden. Die Idee, anhand von LED-Streifen zu warnen, wurde von 30 % der Probanden als sinnvoll eingeschätzt.

In einer anschließenden Untersuchung haben die Autoren aufgrund der Anmerkungen der Probanden das Anzeigekonzept der LED-Leiste verbessert und das Fahrverhalten in einem Simulatorexperiment untersucht (Laquai, Chowanetz & Rigoll, 2011). Dazu verwendeten sie zwei

Anzeigen, welche die Fahrer frühzeitig aufgrund von einer bevorstehenden Baustelle oder eines Tempolimits zu einer Geschwindigkeitsreduktion animieren sollten (Abbildung 3.4). Das erste Konzept bestand aus einer 160 cm breiten LED-Leiste, welche an der Frontscheibenwurzel angebracht wurde. Es meldete die notwendige Verzögerung anhand von drei Farbstufen zurück. Vom Gas gehen: Gelb, leichtes Bremsen: Orange und starkes Bremsen: Rot. Auf eine grüne Stufe wurde aufgrund der früheren Ergebnisse verzichtet. Außerdem wuchs die Größe der Anzeige mit der Nähe zum Ort, an dem die Zielgeschwindigkeit erreicht sein sollte von einem kleinen Balken über drei LEDs bis auf die Breite der gesamten Leiste an. Das zweite Konzept bestand aus zwei einander gegenüberliegenden auf der Motorhaube angebrachten LED-Leisten. Diese meldeten dem Fahrer bei einem Ereignis die Differenz zwischen der aktuellen und der Zielgeschwindigkeit für eine optimale Verzögerung zurück. Dies geschah in Form eines animierten Lauflichtes. Wenn die Geschwindigkeitsdifferenz groß war, wurde das Lauflicht schnell animiert und bei abnehmender Differenz langsamer. Zusätzlich wurde auch in diesem Anzeigekonzept die gleiche Farbkodierung wie im ersten System verwendet.

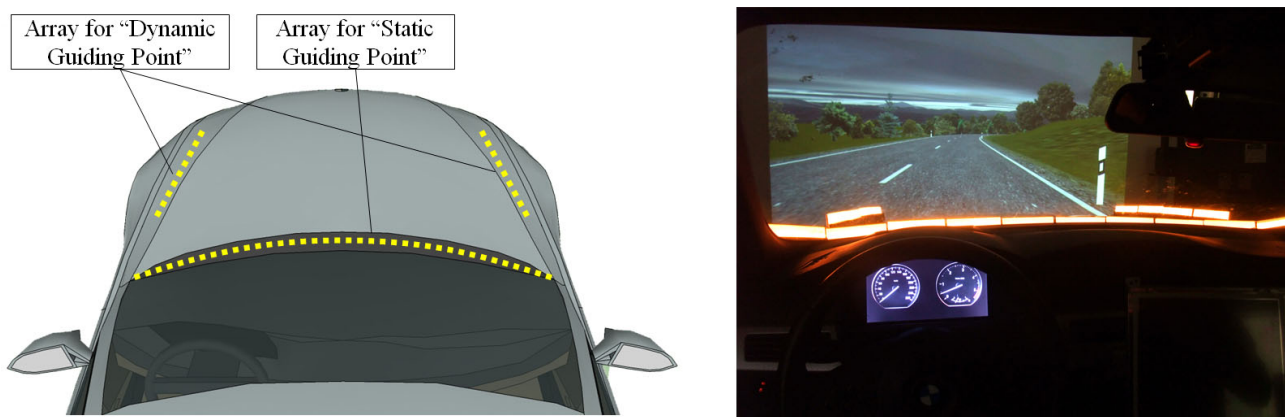


Abbildung 3.4: Laquai et al. (2011) verbesserten ihr Anzeigekonzept und setzten dies in zwei Anzeigen um. Eine lange LED-Leiste an der Frontscheibenwurzel (Static Guiding Point) und zwei parallele kurze LED-Leisten auf der Motorhaube (Dynamic Guiding Point). Schematische Darstellung (links) und aktive Anzeigen aus Fahrersicht (rechts). Die Verwendung der Abbildungen erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Florian Laquai.

Es zeigte sich, dass beide Anzeigen das Bremsverhalten positiv beeinflussten. Beide Systeme zeigten gegenüber der Kontrollbedingung, dass die Fahrer ihre Geschwindigkeit gleichmäßiger verringerten. Die erste statische Anzeige führte weiterhin dazu, dass die Fahrer früher reagierten, als wenn sie ohne Anzeige fuhren. Bei der animierten Anzeige verlangsamten nur die Fahrer mit System ihre Fahrt bis auf die Zielgeschwindigkeit (Laquai et al., 2011). Außerdem wurden beide Anzeigekonzepte positiver bewertet, als die der vorangehenden Studie. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass aufgrund der Erfahrung aus der Vorstudie bei der Gestaltung beider Anzeigen darauf geachtet wurde, dass die LEDs die Fahrer nicht direkt anleuchten und das Licht diffuser dargeboten wurde.

Die Ergebnisse von Laquai et al. (2010, 2011) zeigen, dass eine Unschärfe Warnung Fahrer dazu bewegen kann, ihr Fahrverhalten frühzeitig anzupassen. Weiterhin zeigen sie, welche Faktoren bei der Gestaltung beachtet werden müssen. Da LEDs sehr leuchtstark sein können, muss die Helligkeit an die jeweilige Umgebung angepasst werden. Es sollte in Betracht gezogen werden, eine grüne Warnstufe wegzulassen und erst zu warnen, wenn eine Reaktion wirklich notwendig ist. Generell besteht ein Interesse an diesem neuen Warnsystem. Die Ergebnisse ermuntern somit dazu, das Thema weiter zu erforschen.

3.5 Versuche mit einer LED-Matrix

Auch mit einer LED-Anzeige, aber auf etwas andere Weise untersuchten Kienast et al. (2008) eine Gefahrenwarnung. Sie verwendeten anstelle einer LED-Leiste eine LED-Matrix, die zwischen Lenkrad und Windschutzscheibe montiert war und welche symbolhaft Warnbotschaften an die Fahrer vermitteln konnte (Abbildung 3.5).



Abbildung 3.5: In den Versuchen von Kienast et al. (2008) und Henning et al. (2008) wurden LED-Matrizen verwendet, um Fahrer auf Fußgänger am Straßenrand hinzuweisen. Links: Kleiner Prototyp aus Henning et al. (2008). Rechts: Endgültiges System aus Kienast et al. (2008, S.3). Die Verwendung der Abbildungen erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Matthias Henning und Henning Kienast.

Besonderer Wert wurde bei der Gestaltung auf eine kontaktanaloge Anzeige gelegt. Eine kontaktanaloge Anzeige gibt die Richtung eines außerhalb des Fahrzeugs liegenden Objektes nicht über eine feste Position, sondern relativ zur Position des Fahrers und des Objektes wieder. Dabei wird das Signal auf einer imaginären Linie zwischen Kopfposition des Fahrers und des Objektes platziert und passt außerdem seine Position in Echtzeit an. Es entsteht eine Form der Augmented Reality, relevante Objekte aus der Umwelt werden durch eine Anzeige hervorgehoben.

In ihrer Studie haben Henning et al. (2008) die LED-Matrix am Beispiel eines Nachtsichtszenarios mit einem HUD verglichen. Die Probanden sahen Videoaufzeichnungen von einer Nachtfahrt und mussten wie im Versuch von Mahlke et al. (2007) auf Fußgänger am Straßenrand reagieren. Diese konnten entweder links oder rechts vom Straßenrand stehen. Die Fahrer wurden dabei entweder durch die LED-Matrix oder ein HUD unterstützt (Abbildung 3.6).

Um ein blindes Reagieren auf das Aufleuchten der Anzeige zu verhindern, wurden falsche Alarme bei beiden Systemen eingebaut. Die LED-Matrix unterschied sich vom HUD besonders dadurch, dass die Anzeige gerichtet war. Während die Position des Fußgängers über das HUD zwar angedeutet wurde, befand sich die Anzeige dennoch immer an der gleichen Position.

Beide Anzeigekonzepte haben die Entdeckungsrate gegenüber der Kontrollbedingung erhöht. Die Autoren berichten dieses Ergebnis in einer anderen Veröffentlichung, welche jedoch auf den selben Daten zu beruhen scheint (Kienast et al., 2008). Henning et al. (2008) konnten keinen Unterschied zwischen den Systemen in Bezug auf die Anzahl der erkannten Fußgänger oder der Geschwindigkeit, mit der auf diese reagiert wurde, feststellen.

Dies bedeutet allerdings nicht, dass eine kontaktanaloge LED-Anzeige grundsätzlich keinen Vorteil gegenüber dem HUD mit fester Position hat. Ein möglicher Vorteil wäre die Aufmerksamkeitslenkung der Fahrer. Eine gerichtete Warnung hat den Vorteil nicht nur auf das Vorhandensein einer Gefahr, sondern auch ihre Position hinzuweisen. Um einen richtungsweisenden



Abbildung 3.6: Die Probanden aus dem Versuch von Henning et al. (2008) sahen Videoaufzeichnungen einer Nachtfahrt und mussten Fußgänger am Straßenrand erkennen. Sie wurden entweder durch ein HUD (links) oder eine LED-Matrix (rechts) unterstützt. Die Verwendung der Abbildungen erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Henning Kienast.

Effekt zu messen, ist es jedoch besser zu erfassen wo sich ein Zielobjekt befindet, anstatt nur zu prüfen, ob es vorhanden ist. Dies könnte anhand von Blickbewegungen oder Richtungsangaben gezeigt werden. Diese wurden in der vorgestellten Studie jedoch nicht mit erfasst. Die Richtungserkennung geht zwar indirekt in die erfasste Erkennungszeit mit ein, denn die Probanden mussten das Vorhandensein des Fußgängers vor der Reaktion überprüfen um ein Reagieren auf Fehlalarme zu vermeiden, aber eine direkte Erfassung der Richtungsangabe oder Blickbewegungen würde stärkere Aussagen über die Aufmerksamkeitslenkung zulassen.

Im Versuch von Mahlke et al. (2007) zeigte die LED-Leiste ein hohes Potential zur schnellen Gefahrenerkennung bei geringer Ablenkung gegenüber videobasierten Nachtsichtsystemen. Henning et al. (2008) begründen diesen Vorteil anhand der visuell räumlich-gerichteten Darstellung, doch es wäre auch durchaus möglich, dass die geringe Ablenkung aus dem Versuch von Mahlke et al. (2007) durch die nicht symbolhafte Darstellung erzielt wurde. Es wäre sehr interessant in einer zukünftigen Untersuchung das Medium LED-Anzeige konstant zu halten und nur den Effekt zwischen einer symbolhaften und symbolfreien Anzeige in einem Versuch mit LED-Leiste und LED-Matrix direkt zu vergleichen. Dadurch könnte man erfahren, ob eher die gerichtete Darstellung oder die Symbollosigkeit zu einer geringeren Ablenkung beitragen. Zusammenfassend konnte in der Studie von Henning et al. (2008) kein Vorteil der LED-Matrix gegenüber einem konventionelleren HUD gezeigt werden.

3.6 Fazit

Die in diesem Kapitel vorgestellten ersten Ansätze zu peripheren Warnungen im Kraftfahrzeug stärken das Bild einer Unscharfen Warnung als vielversprechende Alternative zu klassischen Warnsystemen. Aus den bisher durchgeführten Studien ergibt sich folgendes Bild: Die LED-Leiste belastet die Fahrer weniger als videobasierte Nachtsichtsysteme (Mahlke et al., 2007). Sie eignet sich als effiziente Warnung vor verdeckten Verkehrsteilnehmern (Fricke, 2009) und führt in Kollisionsszenarien zuverlässig zu mindestens gleich guten Reaktionszeiten wie klassische Systeme (Maier et al., 2011). Sie eignet sich außerdem zum Einsatz als frühzeitige Vorwarnung (Maier et al., 2011). Fahrer können sich die Anzeige als Warnsystem vorstellen und wünschen sich weiche Übergänge zwischen Warnstufen (Laquai et al., 2010). Sie bevorzugen eine Anzeige, die nur aktiv wird, wenn ein Eingriff notwendig ist, und schlagen vor, eine grüne Warnstufe bei möglicher, geringer Gefahr wegzulassen (Laquai et al., 2010). Aufgrund der hohen Leuchtkraft

der LEDs sollte diese bei der Gestaltung unter Berücksichtigung der Umgebungshelligkeit auf ein sinnvolles Niveau angepasst werden (Laquai et al., 2010).

3.7 Offene Fragen

Obwohl es schon einige Studien zu LED-Systemen als Anzeigekonzept gibt, fehlt eine systematische Auseinandersetzung mit dem Wirkungsprozess einer Unscharfen Warnung auf den Fahrer. Die bisher durchgeführten Studien untersuchen jeweils nur einen konkreten Anwendungsfall und unterscheiden sich in vielen Faktoren voneinander.

In einigen Studien wurde eine symbolfreie LED-Anzeigen untersucht (Mahlke et al., 2007; Fricke, 2009; Maier et al., 2011; Laquai et al., 2010, 2011), andere Forscher konzentrierten sich auf symbolhafte Anzeigen (Kienast et al., 2008; Henning et al., 2008). Es wurden konkrete Unfallszenarien untersucht, in denen die Fahrer auf eine unmittelbare Gefahr reagieren mussten und durch das System gewarnt wurden (Fricke, 2009; Maier et al., 2011). Es gab aber auch Untersuchungen, in denen die LED-Anzeige eher über eine potentielle Gefahr informierte (Mahlke et al., 2007; Laquai et al., 2010, 2011). Die Anzeige war entweder an der Scheibenwurzel angebracht (Mahlke et al., 2007; Fricke, 2009; Maier et al., 2011; Kienast et al., 2008; Henning et al., 2008), neben dem Lenkrad (Laquai et al., 2010) oder auch auf der Motorhaube (Laquai et al., 2011). Die Anwendungsfälle variierten zwischen Nachtsichtsystemen (Mahlke et al., 2007; Kienast et al., 2008; Henning et al., 2008), Kollisionswarnungen (Maier et al., 2011; Fricke, 2009) und Informationen über bevorstehende Hindernisse auf der Fahrbahn und Geschwindigkeitsempfehlungen (Laquai et al., 2010, 2011). Sowohl Größe, Symbolhaftigkeit, Position und Farbe der Anzeige als auch das Szenario sind zwischen den Studien unterschiedlich. Dieser Umstand macht es sehr schwer Gesetzmäßigkeiten in der Wirkung von Unscharfen Warnungen zu finden. Um über ein konkretes Warnkonzept hinaus allgemeine Aussagen über die Gestaltung einer solchen Anzeige treffen zu können, ist dies jedoch notwendig. Ohne eine gezielte Untersuchung einzelner Faktoren bleibt weiterhin unklar wie eine optimale Unscharfe Warnung gestaltet sein sollte. Daher werden in dieser Arbeit insgesamt sieben elementare Fragestellungen untersucht, um diese Wissenslücken zu schließen.

In dieser Arbeit soll das Potential der Anzeige untersucht werden, die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen und die Wirkung dieser neuen Anzeige soll besser verstanden werden. Die folgenden Kapitel beschäftigen sich daher zum Teil mit der Untersuchung sicherheitsrelevanter Aspekte, wie der Ablenkung des Blickes von der Straße, Reaktionszeiten auf verschiedene Systeme und der gezielten Blickausrichtung.

Es werden aber auch Aspekte untersucht, um die Gestaltung der Anzeige zu optimieren, wie die Sichtbarkeit der Anzeige und ihre intuitive Verständlichkeit. Zusätzlich werden Gestaltungsaspekte am Beispiel von der Nutzung einer Anzeige für mehrere Meldungen und der Effekt einer Variation des Warnüberganges einer mehrstufigen Warnung betrachtet. Das somit erlangte Wissen über die verschiedenen Merkmale des Anzeigekonzeptes ermöglichen eine abschließende Bewertung am Ende der Arbeit.

Wie gut werden periphere Lichtsignale unter der Frontscheibe wahrgenommen? Beinahe alle im vorigen Abschnitt vorgestellten Konzepte einer Unscharfen Warnung sind unter der Frontscheibe angebracht. Auf diese Weise können die Informationen nahe am Blickfokus dargeboten werden, ohne die Sicht auf die Straße zu verdecken. Überraschender Weise hat dennoch keine der vorgestellten Studien die generelle Sichtbarkeit von Lichtsignalen an dieser Position untersucht. Dabei ist dies ein wichtiger Schritt um festzustellen, wie gut die Frontscheibenwurzel als Position für Anzeigen geeignet ist. Dieser Frage wird in Kapitel 4 dieser Arbeit nachgegangen.

Wird eine Unscharfe Warnung intuitiv verstanden? Ein Warnsystem sollte intuitiv verständlich sein, um auch in zeitkritischen Situationen die angemessene Fahrerreaktion auszulösen. Dies ist insbesondere für die hier untersuchte LED-Leiste wichtig, da sie über keine Symbole oder Schriftzüge verfügt, welche bei der Interpretation helfen könnten. In den bisherigen experimentellen Untersuchungen waren die Fahrer in den Versuch eingewiesen worden und haben die Anzeige somit vorher kennen gelernt. Im normalen Straßenverkehr ist das normalerweise nicht der Fall. Die intuitive Verständlichkeit von Unscharfen Anzeigen wird daher in Kapitel 5 untersucht.

Wird die Unscharfe Warnung peripher wahrgenommen? Die Gestaltung der Unscharfen Warnung zielt darauf ab, eine periphere Wahrnehmung zu ermöglichen und damit den Blick der Fahrer weniger von der Straße abzulenken. Dieser Aspekt wurde bisher nur von Mahlke et al. (2007) für eine Nachtsichtassistentz untersucht und auch wenn die Ergebnisse für eine periphere Wahrnehmung sprechen, lassen sie sich leider nicht ohne weiteres auf andere Anwendungsszenarien generalisieren. Mahlke et al. (2007) verglichen die symbolfreie LED-Leiste mit Nachtsichtsystemen die auf analogen Videostreams basierten. Videobilder sind visuell sehr komplex und erfordern eine intensive Blickzuwendung um genutzt zu werden. Da sie deutlich anspruchsvoller sind als einfache symbolhafte Anzeigen, waren sie sehr gut geeignet, um einen Effekt der visuellen Ablenkung zu demonstrieren. Videobasierte Assistenz wird im Auto allerdings bisher nur sehr selten eingesetzt. Neben der von Mahlke et al. (2007) untersuchten Nachtsicht gibt es noch Einparksysteme, die von Videobildern Gebrauch machen. Die große Mehrheit der Assistenz- und Warnsysteme beruht allerdings auf nicht videobasierten sondern piktogrammartigen Anzeigen. Es ist daher weiterhin unklar, ob sich der positive Effekt der LED-Leiste auch im Vergleich mit einfachen symbolhaften Anzeigen und auch außerhalb des Nachtsichtszenarios zeigen lässt. Diese Frage wird daher in Kapitel 6 untersucht.

Reicht eine klassische Anzeige zur Unscharfen Warnung? Um den Nutzen einer Warnung zu beurteilen reicht es nicht aus, allein ihre Wirkung zu demonstrieren. Gerade für ein neues Assistenzsystem muss auch gezeigt werden, dass es einen Vorteil gegenüber bereits verfügbaren Systemen hat, sonst lohnt sich der Einsatz nicht. Die erwarteten Vorteile der Unscharfen Warnung beruhen zu einem großen Teil auf ihrer symbolfreien Darstellung. Diese kann jedoch neben einer LED-Leiste auch über bereits im Fahrzeug vorhandene Anzeigen, wie dem Kombidisplay hinter dem Lenkrad oder dem Multimediadisplay in der Mitte der Fahrzeugkonsole erreicht werden. Wäre es nicht am effizientesten, ein bereits bestehendes System zu verwenden? Die Nutzung einer bereits vorhandenen Anzeige wäre ökonomischer und würde zu niedrigeren Kosten des Systems führen. Dies wiederum würde die Marktdurchdringung erhöhen und damit das Potential des Systems die Verkehrssicherheit zu verbessern. Es stellt sich nun die Frage, ob überhaupt eine LED-Leiste benötigt wird, um einen positiven Effekt der Unscharfen Warnung zu erreichen. Keine der berichteten Studien hat versucht eine Unscharfe Warnung über bereits vorhandene Anzeigeelemente zu realisieren. Diese Lücke wird in Kapitel 7 geschlossen.

Kann der Blick mit der Unscharfen Warnung gelenkt werden? Die Unscharfe Warnung bringt neben dem Potential peripher wahrgenommen zu werden noch einen weiteren Vorteil gegenüber klassischen Anzeigen mit sich. Aufgrund der Größe der Anzeigefläche ist es möglich, Warnungen direkt in Gefahrenrichtung anzuzeigen. Dies sollte zu einer effizienteren Blicklenkung führen als durch einen fest positionierten zentralen Hinweisreiz (Remington, 1978). Dadurch ergibt sich die Chance den Blick der Fahrer in kritischen Situationen auf die Gefahr zu lenken, wenn sie gerade in eine andere Richtung schauen. Doch auch dieser Aspekt der Anzeige wurde noch nicht untersucht. Zwar haben Mahlke et al. (2007) die Blickrichtung ihrer Probanden bei Unterstützung durch die Nachtsichtsysteme aufgezeichnet, allerdings haben sie nur

die Blickzuwendungen zum verwendeten System und nicht für die zu erkennenden Fußgänger ausgewertet. Es ist somit weiterhin unklar, ob die Unscharfe Warnung den Blick auch gezielt lenken kann. Diese Fragestellung wird in Kapitel 8 untersucht.

Kann die Unscharfe Warnung für mehr als nur eine Anzeige genutzt werden? Das Konzept der Unscharfen Warnung ist nicht auf einen einzigen Anwendungszweck festgelegt. Bisher wurde es in den Bereichen Nachtsicht (Mahlke et al., 2007), Kollisionswarnung (Fricke, 2009; Maier et al., 2010; Kienast et al., 2008; Henning et al., 2008) und als Information zur Geschwindigkeitsreduktion (Laquai et al., 2010, 2010) untersucht. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass sich die Anzeige für verschiedene Anwendungsszenarien eignet. Daraus ergibt sich allerdings die Frage, ob das Konzept nun auf eine Funktion festgelegt werden muss oder sich verschiedene Funktionen innerhalb einer Anzeige kombinieren lassen. Bei klassischen Anzeigen ist es durchaus üblich, dasselbe Display für verschiedene Meldungen zu verwenden. Die Botschaften können dort allerdings aufgrund ihres symbolhaften Charakters voneinander unterschieden werden. Bei der Unscharfen Warnung ist dies nicht so einfach möglich. Wie reagieren Fahrer, wenn sie nacheinander eine kritische und danach eine unkritische Meldung über die Unscharfe Warnung erhalten? Werden die Fahrer blind auf die vorher erlebte Funktion reagieren oder den Unterschied erkennen und ihre Reaktion an die neue Situation anpassen? Es wäre sehr gefährlich, wenn die Fahrer aufgrund einer früheren Erfahrung mit einer Warnung bei einer Information überreagieren. Um dies zu vermeiden, ist es notwendig, die Reaktion der Fahrer auf die Kombination von verschiedenen Botschaften innerhalb der Unscharfen Warnung zu untersuchen. In Kapitel 9 geschieht dies anhand einer Nebelinformation auf einer Autofahrt, die mit einer Kollisionswarnung aus dem Stadtbereich verglichen wird.

Was warnt besser, ein weicher oder ein harter Warnübergang? Da über die Unscharfe Warnung Botschaften ohne Symbole oder Schriftzeichen vermittelt werden müssen, spielen die verbleibenden Kanäle von Farbe, Größe und Animation eine um so wichtigere Rolle für die optimale Gestaltung der Anzeige. Die Farbgestaltung kann überwiegend aus den im Straßenverkehr üblichen Kodierungen (Rot, Gelb, Grün) übernommen werden und die Größe der Anzeige wird bereits in Kapitel 7 untersucht. Es ist aber bisher unklar, wie Animationen gezielt genutzt werden können, um Botschaften über die LED-Leiste zu vermitteln. Auch bisherige Studien zur Unscharfen Warnung nutzen zwar Animation, manipulieren diese aber nicht gezielt. Eine Animation kann helfen eine Anzeige verständlicher zu gestalten. Am Beispiel eines Warnübergangs wird in Kapitel 10 der Effekt von Warnübergang und Animationsrichtung untersucht.

4 Wie gut werden periphere Lichtsignale unter der Frontscheibe wahrgenommen?

Zusammenfassung In dieser Studie wurde untersucht, wie gut Lichtsignale an der Frontscheibenwurzel peripher wahrgenommen werden können. Dabei wurde die Sichtbarkeit bei Menschen mit unterschiedlichen Körpergrößen in zwei verschiedenen Fahrzeugtypen miteinander verglichen. Die Lichtsignale wurden in einem Mittelklassewagen besser gesehen, als im Kleinwagen. Verdeckungen traten nur im Kleinwagen hinter dem Lenkrad auf. Es gab keine Einschränkungen der Sichtbarkeit aufgrund der Körpergröße, aber aufgrund der Sitzhöhe. Bei tief sitzende Teilnehmern traten Verdeckungen auf. Diese konnten durch eine erhöhte Anbringung der Leiste von 11 cm ausgeglichen werden. Beim Blick geradeaus nahm die Sichtbarkeit der Signale ab der Mitte der Frontscheibe deutlich ab. Periphere Anzeigen sollten ab dieser Position animiert sein, damit sie noch gut wahrgenommen werden.

4.1 Einleitung

Die Unscharfe Gefahrenwarnung ist eine völlig neue Anzeige für Kraftfahrzeuge. Sie unterscheidet sich von klassischen Systemen durch die Form und Positionierung im Fahrzeug. Im Gegensatz zu klassischen Systemen ist sie direkt unter der Frontscheibe angebracht und kann die gesamte Länge zwischen beiden A-Säulen zur Informationsdarbietung nutzen. Der erste Schritt zum Verständnis ihrer Wirkung ist zu beschreiben, wie gut eine Anzeige an dem vorgesehenen Einsatzort wahrgenommen werden kann. In diesem Fall bedeutet dies, die Sichtbarkeit peripherer Lichtsignale an der Frontscheibenwurzel zu untersuchen. Zwar wissen wir aus der Grundlagenforschung, dass die räumliche visuelle Auflösung zur Peripherie hin grundsätzlich abnimmt (Loschky et al., 2005), für die optimale Gestaltung einer Unscharfen Warnung an der Frontscheibenwurzel ist es allerdings wichtig zu wissen, wie gut einzelne Lichtsignale an verschiedenen Positionen gesehen werden können. Da die Warnung visuell dargeboten wird, hängt die Wirkung direkt von der Sichtbarkeit der schmalen Anzeige ab. Es wäre leicht möglich, dass Verdeckungen auftreten oder die Lichtsignale aufgrund ihrer Größe kaum sichtbar sind. So könnte es sein, dass gerade Menschen mit kleiner Körpergröße die Signale weniger gut sehen, als welche mit großer Körpergröße. Dies sollte bei der Gestaltung vermieden werden, um den Nutzen der Anzeige zu maximieren.

Bisherige Erkenntnisse über die Wahrnehmung im peripheren Sichtfeld stammen überwiegend aus der Grundlagenforschung. Anhand dieses Wissens können zwar allgemeine Regeln für die Gestaltung einer peripheren Warnung abgeleitet werden (Abschnitt 2.2.3), doch sie erlauben keine Schlüsse über die konkrete Sichtbarkeit eines spezifischen Warnsystems an einem bestimmten Ort im Fahrzeug. Die Erkenntnisse lassen sich nicht zwangsläufig auf den Verkehrskontext übertragen. Einen wichtigen Unterschied zum Kontext im Automobil stellt die Akkomodation der Augen auf die richtige Entfernung dar. Während Probanden im Labor normalerweise einen Bildschirm oder eine Leinwand fixieren, auf der auch die Reize dargeboten werden, besteht in einer Autofahrt ein Entfernungsunterschied zwischen fixierter Außenwelt und den Anzeigen im Fahrzeug. Um die tatsächliche Wahrnehmung peripherer Lichtsignale an

der Frontscheibenwurzel bei ferner Akkomodation auf die Straße zu messen, ist es daher am besten, die natürliche Fahrsituation möglichst realistisch nachzustellen.

Tatsächlich gibt es bereits einige Studien, welche verschiedene Aspekte peripheren Sehens im Fahrzeug untersucht haben (Cohen, 1987; Trösterer, Dzaack & Zschoernack, 2010; Zschoernack et al., 2010), aber keine der Studien beschäftigt sich gezielt mit dem Bereich unter der Frontscheibe, welcher sich aufgrund seiner Nähe zum Blickfokus während der Fahrt und der Eigenschaft die Verkehrssituation nicht zu verdecken, besonders gut für den Einsatz eignet. Um die Wirkung dieser Anzeige zu optimieren, muss die Sichtbarkeit direkt am Einsatzort vermessen werden.

Es wird davon ausgegangen, dass bei einem normalen Blick auf die Straße aufgrund der Anatomie unserer Augen nicht die gesamte Leiste gleich gut gesehen werden kann (Abschnitt 2.1). Stattdessen sollte die Sichtbarkeit der Signale gerade im Bereich der A-Säulen hin abnehmen. Doch wie stark ist dieser Effekt und wie wird er durch die Körpergröße der Fahrer beeinflusst? Ein anderer Faktor, welcher einen Einfluss auf die Sichtbarkeit der Lichtsignale haben könnte ist ein Multimediainterface (MMI) welches aus der Mitte der Fahrzeugkonsole herausragt. Mittelklassefahrzeuge haben mitunter eine solche Anzeige und daher wurde auch dieser Aspekt in der Untersuchung berücksichtigt.

Genauere Daten können durch die Simulation von Sichtbedingungen im Fahrzeug gewonnen werden. Eine Simulation kann jedoch auch nur Faktoren berücksichtigen, die schon vor der Untersuchung bekannt sind und explizit mit in das Modell aufgenommen werden. Für die in dieser Arbeit untersuchte Warnung ist insbesondere die Sichtbarkeit im peripheren Gesichtsfeld relevant. Eine konkrete Vermessung von der Sichtbarkeit von peripheren Lichtsignalen an der Frontscheibenwurzel im Kraftfahrzeug wurde bisher noch nicht durchgeführt.

Fragestellung Das Ziel dieser Studie war es, explorativ die Sichtbarkeit von peripheren Lichtsignalen an der Frontscheibenwurzel zu vermessen und daraus Gestaltungskriterien für eine dort zu platzierende Anzeige abzuleiten. Dabei wurde insbesondere die Körpergröße als Einflussfaktor berücksichtigt.

4.2 Methode

4.2.1 Versuchsdesign

In diesem Versuch wurden drei Faktoren im Messwiederholungsdesign untersucht. Das »Fahrzeug«, die »Blickrichtung« und die »Signalposition« wurden variiert. Für das »Fahrzeug« wurden drei Konfigurationen untersucht: »Opel Corsa«, »VW Passat ohne MMI« und »VW Passat mit MMI«. Die »Blickrichtung« wurde in vier Stufen getestet: »Straße«, »linker Rückspiegel«, »rechter Rückspiegel« und »direkt zum Lichtsignal«. Die »Signalposition« wurde in zehn Stufen variiert (Abbildung 4.5). Als abhängige Variable wurde die Sichtbarkeit der Lichtsignale erfasst. Dabei wurde zwischen drei Sichtbarkeitsstufen unterschieden. Bei den ersten beiden Stufen blickten die Fahrer geradeaus und nahmen die Signale nur peripher wahr. Ein Signal galt als »kurz gesehen«, wenn es beim Einschalten erkannt wurde, aber die Probanden danach nicht mehr angeben konnten, ob das Signal bereits wieder ausgeschaltet wurde oder noch leuchtete. Das Signal wurde als »ständig gesehen« eingestuft, wenn es beim Einschalten gesehen wurde und danach angegeben werden konnte, ob es noch leuchtet. Um Verdeckungen festzustellen, wurde außerdem die dritte Stufe »direkt gesehen« erfasst, wenn die Probanden das Lichtsignal beim direkten Blick in die Richtung sehen konnten.

4.2.2 Stichprobe

Insgesamt nahmen 20 Probanden (55 % weiblich) im Alter von 20 bis 48 Jahren (Mittelwert: 27 Jahre) und einer durchschnittlichen Größe von 1.67 m an der Studie teil. Um Menschen mit extremen Körpergrößen gezielt zu berücksichtigen, waren vier Probanden unter 1.53 m und fünf über 1.93 m groß. Sie gehörten somit zu den jeweils 5 % größten oder kleinsten Menschen in Deutschland (DIW Berlin, TNS Infratest Sozialforschung, 2006). Die Probanden verfügten über normale oder auf normales Niveau korrigierte Sicht und alle bis auf einen Probanden waren im Besitz eines Führerscheins. Die durchschnittliche Fahrleistung betrug unter 9 000 km pro Jahr. Für ihre Teilnahme erhielten die Probanden wahlweise eine Aufwandsentschädigung von 15,- Euro oder 1.5 Versuchspersonenstunden (VP-Stunden), die sie für ihr Studium benötigten.

4.2.3 Material

Testfahrzeuge Es wurde davon ausgegangen, dass Cockpitaufbau und Fahrzeugausstattung die Sichtbarkeit der Frontscheibenwurzel beeinflussen. Während in preiswerten Fahrzeugen wenig Platz zur Verfügung steht und kaum individuelle Anpassungen des Fahrzeugs möglich sind, bietet ein Fahrzeug höherer Klasse mehr Raum und Komfort. Um Aussagen für verschiedene Fahrzeugtypen treffen zu können, wurde der Versuch mit einem Kleinwagen (Opel Corsa) und einem Mittelklassewagen (VW Passat) durchgeführt (Abbildung 4.1). Beide Fahrzeuge unterschieden sich neben der Größe und dem Modell besonders dadurch, dass im Passat die Sitze und das Lenkrad höhenverstellbar waren.



Abbildung 4.1: In diesem Versuch wurden zwei Versuchsfahrzeuge verwendet: Ein »Opel Corsa« (links) und ein »VW Passat« (rechts).

Multimediainterface Um die mögliche Verdeckung durch ein MMI, welches aus der Mitte der Fahrzeugkonsole herausragt, zu berücksichtigen, wurde im VW Passat ein Dummy-Display installiert. Dieses war in Position und Größe mit einem echten MMI vergleichbar. Es hatte die Maße 22x11 cm und wurde über der Mittelkonsole des Fahrzeugs angebracht. Das MMI wurde nur im Mittelklassewagen getestet, da Kleinwagen seltener über ein solches Display verfügen.

Lichtleiste Für diesen Versuch wurde eine biegsame Lichtleiste mit 10 Glühlämpchen (12 V, 40 mA, 6 x 3.15 mm, klar) angefertigt. Diese konnte in beiden Testfahrzeugen platziert und an die individuelle Scheibenkrümmung angepasst werden (Abbildung 4.2). Über die Leiste konnten gezielt Lichtsignale an verschiedenen Positionen unter der Frontscheibe dargeboten werden. Die

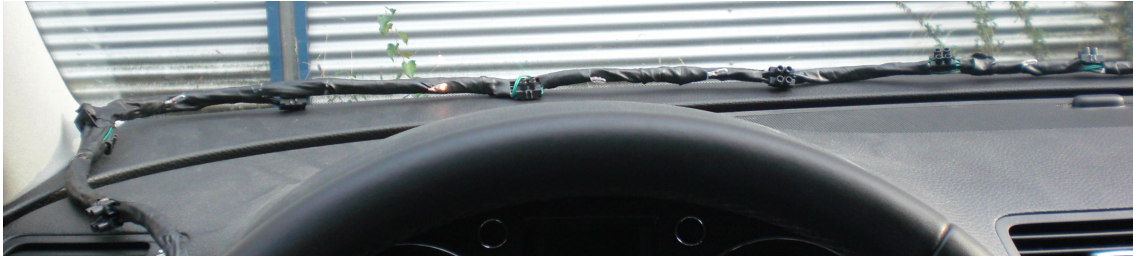


Abbildung 4.2: Beispielhafter Aufbau der Lichtleiste im Versuchsfahrzeug »VW Passat«.

einzelnen Signale wurden von einem Microcontroller gesteuert und konnten in einer zufälligen Abfolge ohne Wiederholung nacheinander ein- und wieder ausgeschaltet werden.

Obwohl die Unscharfe Warnung später mit LEDs funktionieren sollte, wurden in diesem Versuch Glühlampen verwendet. Diese Entscheidung wurde aufgrund der unterschiedlichen Abstrahlwinkel beider Lichtquellen getroffen. LEDs verbreiten ihr Licht über einen relativ engen Winkel. Dadurch beeinflusst ihre Ausrichtung stark die Sichtbarkeit. Lämpchen hingegen strahlen in alle Richtungen gleichmäßig und sind daher ohne besondere Positionierung gleich gut zu erkennen. Die Lichtleiste musste für den Versuch häufig zwischen beiden Testfahrzeugen gewechselt werden. Es war daher ökonomischer Lämpchen zu verwenden, da diese nicht bei jedem Umbau neu ausgerichtet werden mussten.

Die Signale waren nicht gleichmäßig an der Scheibenwurzel verteilt, sondern so positioniert, dass besonders die relevanten Bereiche in der Nähe der linken und rechten A-Säule, hinter dem Lenkrad und gegebenenfalls dem MMI abgedeckt wurden. Die genauen Signalpositionen können Tabelle 4.1 entnommen werden.

Signal Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gesamt
Position Opel Corsa	3	20	31	39	62	72	81	97	110	119	120
Position VW Passat	4	21	32	40	63	73	82	98	111	129	130

Tabelle 4.1: Signalpositionen in beiden Versuchsfahrzeugen. Abstände werden in cm zur linken A-Säule angegeben. Ganz rechts ist die Gesamtbreite der Scheibenwurzel angegeben.

4.2.4 Ablauf

Die Probanden füllten einen demographischen Fragebogen aus und wurden über den Versuch und Hintergrund der Untersuchung informiert. Sie stimmten außerdem der anonymen Verarbeitung der im Versuch erhobenen Daten zu. Der Versuch fand auf einem ruhigen Parkplatz der Technischen Universität Braunschweig statt. Dadurch wurde die Ablenkung durch vorbeigehende Menschen oder vorbeifahrende Autos minimiert. Die Fahrzeuge wurden vor einer Halle geparkt und der Versuch fand im Stand bei ausgeschaltetem Motor tagsüber zwischen 10 und 18 Uhr statt. Das Wetter wechselte während der Versuche zwischen sonnig und bewölkt. Es war überwiegend bewölkt. Nur bei zwei Probanden regnete es.

Zu Beginn wurde die Körpergröße der Probanden ohne Schuhe gemessen. Die Probanden setzten sich danach in das Versuchsfahrzeug auf den Fahrersitz. Die Sichtbarkeit sollte unter möglichst natürlichen Bedingungen gemessen werden. Die Probanden wurden daher gebeten, Sitz und Lenkrad in Position und Höhe so einzustellen, wie sie es bei einer normalen Fahrt tun würden. Zwei der kleineren Teilnehmer verwendeten daher Sitzkissen, die sie auch bei privaten Fahrten einsetzten, um ihre Sitzhöhe anzupassen.

Alle Probanden erhielten eine kurze Einführung in den Versuchsablauf. In zwölf Durchgängen wurde nun die Sichtbarkeit nacheinander in beiden Versuchsfahrzeugen geprüft, indem alle Signale in zufälliger Reihenfolge einzeln eingeschaltet wurden und nach der Sichtbarkeit gefragt wurde (Tabelle 4.2). Die Abfolge der Sichtbedingungen wurde konstant gehalten.

Durchgang	Fahrzeug	Blickrichtung	Sicht auf Signal
1	Opel Corsa	Straße	peripher
2	Opel Corsa	linker Rückspiegel	peripher
3	Opel Corsa	rechter Rückspiegel	peripher
4	Opel Corsa	zum Lichtsignal	direkt
5	VW Passat ohne MMI	Straße	peripher
6	VW Passat ohne MMI	linker Rückspiegel	peripher
7	VW Passat ohne MMI	rechter Rückspiegel	peripher
8	VW Passat ohne MMI	zum Lichtsignal	direkt
9	VW Passat mit MMI	Straße	peripher
10	VW Passat mit MMI	linker Rückspiegel	peripher
11	VW Passat mit MMI	rechter Rückspiegel	peripher
12	VW Passat mit MMI	zum Lichtsignal	direkt

Tabelle 4.2: Testreihenfolge der untersuchten Bedingungen. Alle Probanden wurden in der hier aufgeführten Reihenfolge in allen Bedingungen getestet.

Um Raten bei der Erfassung der Signale auszuschließen, wurde bei jedem Durchgang, in dem die Probanden angaben, ein Signal gesehen zu haben, zusätzlich nach der Richtung des Signals gefragt. Die Probanden gaben daraufhin die Signalposition per Handzeichen an, ohne den Kopf zum Signal zu wenden. Nur Aussagen mit korrekter Richtungsangabe wurden in die Auswertung mit einbezogen. Die Probanden beurteilten die Sichtbarkeit je Bedingung in drei Schritten: Sie beurteilten zuerst, ob ein Signal in der Peripherie beim Einschalten sichtbar war (»kurz gesehen«) und danach, ob sie es auch weiterhin wahrnehmen konnten (»ständig gesehen«). Um auf Verdeckungen zu prüfen, schauten die Probanden außerdem einmal direkt zum Signal und gaben die Sichtbarkeit an (»direkt gesehen«). Wenn mindestens ein Signal beim direkten Betrachten verdeckt war, wurde die für die Sichtbarkeit notwendige Höhe bestimmt. Dies geschah in einem zusätzlichen Durchgang, in dem die Lichtleiste von der Scheibenwurzel langsam aufwärts verschoben wurde, bis die Probanden angaben, alle Signale sehen zu können. Die Distanz zwischen Leiste und Scheibenwurzel wurde entlang der Scheibe gemessen.

4.3 Ergebnisse

Es gab keine Anzeichen dafür, dass die Probanden versucht hätten, die Signalposition zu erraten. Alle Richtungsangaben waren korrekt.

Verdeckungen Verdeckungen traten nur im Opel Corsa auf und betrafen nur die Signale 2, 3 und 4 direkt hinter dem Lenkrad. Hier sahen fünf Probanden nicht alle Signale. Diese waren zwischen 130 und 165 groß und damit nur tendenziell die kleinsten Personen aus der Stichprobe (Abbildung 4.3). Ein besserer Indikator für die Verdeckung war der Augenabstand zur Fahrzeugdecke. Die fünf Probanden, bei denen die Sicht verdeckt wurde, saßen am tiefsten im Fahrzeug. Die sehr kleinen Fahrer profitierten von ihren Sitzkissen und glichen damit Sicht einschränkungen selbst aus. Dadurch konnten größere Fahrer, die tiefer saßen, die Signale schlechter wahrnehmen, als kleine Fahrer, die höher saßen. Im Passat gab es keine Verdeckungen

und es spielte keine Rolle, ob ein MMI installiert war, oder nicht. Beim Ausgleich der Verdeckungen hinter dem Lenkrad zeigte sich, dass eine durchschnittliche erhöhte Anbringung der Lichtleiste von 11 cm über der Scheibenwurzel genügte, um alle Verdeckungen auszugleichen.

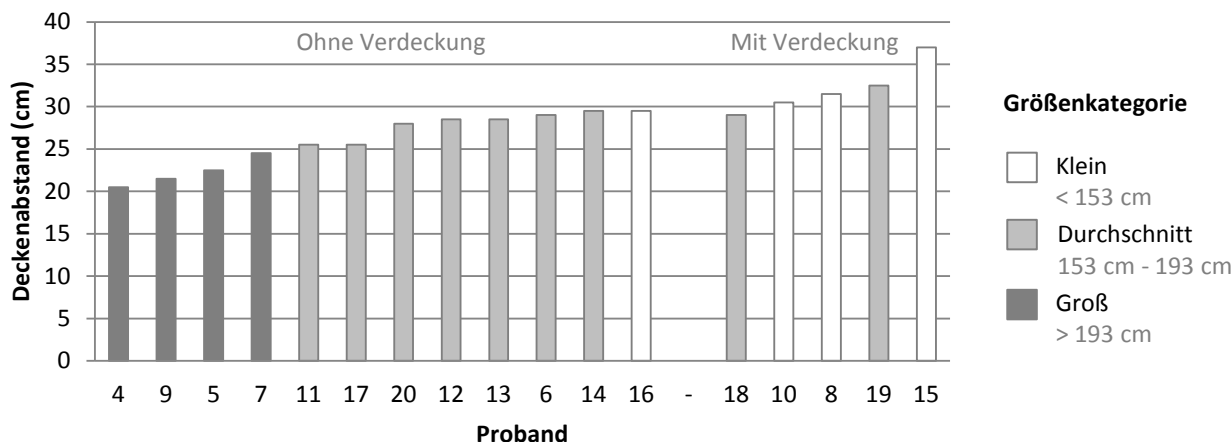


Abbildung 4.3: Übersicht über Probanden bei denen Verdeckungen auftraten, unterteilt nach Körpergröße und sortiert nach Abstand zwischen Augenhöhe zur Fahrzeugdecke. Die Bedeutung des Deckenabstandes wurde erst ab dem vierten Probanden erkannt und ab da erfasst.

Sichtbarkeit in der Peripherie Im peripheren Gesichtsfeld zeigten sich Unterschiede in der Sichtbarkeit sowohl in der »Signalposition« als auch zwischen den »Blickrichtungen« und »Fahrzeugen«. Generell wurden die peripheren Lichtsignale im »VW Passat« besser gesehen, als im »Opel Corsa«. Beim Blick in den linken Rückspiegel wurden die meisten peripheren Signale übersehen, während die wenigsten beim Blick gerade auf die Straße übersehen wurden (Abbildung 4.4).

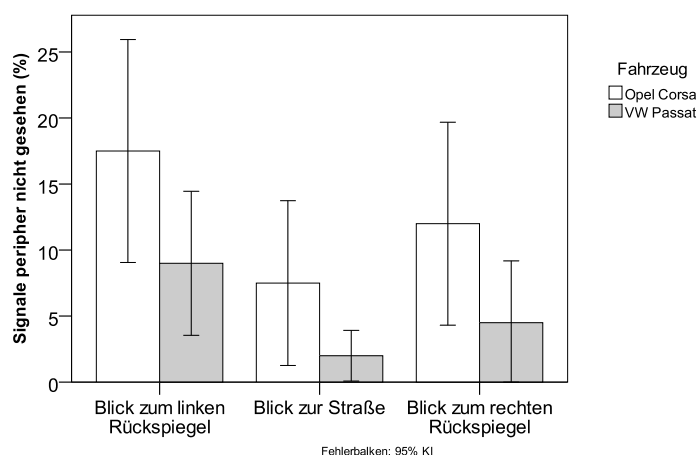


Abbildung 4.4: Anteile der Signale, die peripher nicht gesehen wurden, aufgeteilt nach »Blickrichtung« und »Fahrzeug«.

Die Sichtbarkeit nahm mit zunehmender Entfernung vom Blickfokus ab. Dieser Effekt war im Kleinwagen stärker, als im Mittelklassewagen (Abbildung 4.5). Beim Blick auf die Straße konnten an der rechten A-Säule nur noch 55 % der Signale ständig aus dem Augenwinkel gesehen werden. Weitere 40 % der Signale im VW Passat und 25 % im Opel Corsa konnten

an dieser Stelle nur kurz bei Veränderung wahrgenommen werden. Die Probanden konnten somit die Veränderung eines Signalzustands (»Kurz gesehen«) besser sehen, als das anhaltende Lichtsignal an sich (»ständig gesehen«) (Abbildung 4.5).

Blickrichtung Die Orientierung des Kopfes hatte einen starken Einfluss auf die Sichtbarkeit der Signale. Während beim Blick auf die Straße das am wenigsten sichtbare Signal immer noch zu 95 % im VW Passat und 80 % im Opel Corsa gesehen wurde, fielen diese Werte beim Blick zum linken Rückspiegel auf 60 % im VW Passat und 65 % im Opel Corsa (Abbildung 4.5). Die stärksten Einschränkungen gab es im Bereich der rechten A-Säule beim Blick zum linken Rückspiegel.

Orientierungsreaktion Einige Probanden berichteten, dass sie in Ausnahmefällen entgegen der Versuchsanweisung und ohne dies zu wollen direkt zum Signal schauten.

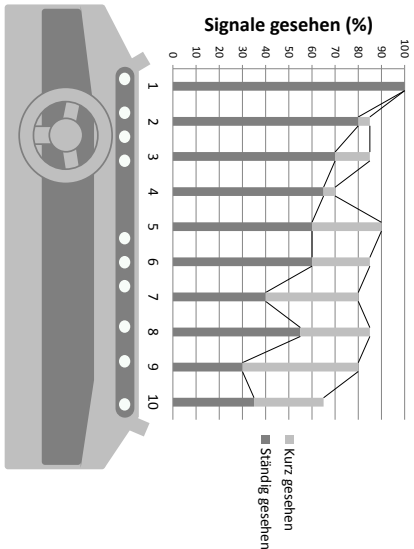
4.4 Diskussion

Das Ziel dieser Untersuchung war es, die Sichtbarkeit von peripheren Lichtsignalen an der Frontscheibenwurzel zu erfassen. Die Ergebnisse stützen bekannte Effekte aus der Grundlagenforschung und liefern darüber hinaus spezifische Verteilungen der relativen Sichtbarkeit peripherer Lichtsignale an der Frontscheibenwurzel im Kraftfahrzeug. Die gemessene Abnahme der ständig sichtbaren Lichtsignale entspricht in etwa dem Verlauf der Dichte der für das scharfe Sehen verantwortlichen Zapfen auf unserer Retina. Besonders in der extremen Peripherie werden die Signale nur noch kurz beim Einschalten gesehen, was eine Veränderung der Helligkeit darstellt. Dieser Effekt kann durch die in der Peripherie vorherrschenden Stäbchen, welche besonders für Bewegungen und Veränderungen empfindlich sind und die geringe Dichte an Zapfen, welche das scharfe Sehen ermöglichen, erklärt werden. Die Grenze zwischen der ständigen und nur kurzzeitigen Sichtbarkeit lag in etwa in der Mitte der Frontscheibenwurzel. Signale, die hier oder weiter in der Peripherie dargeboten werden, wurden nur kurz beim Einschalten gesehen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine periphere Anzeige besser wahrgenommen werden kann, wenn sie ab diesem Punkt animiert wird.

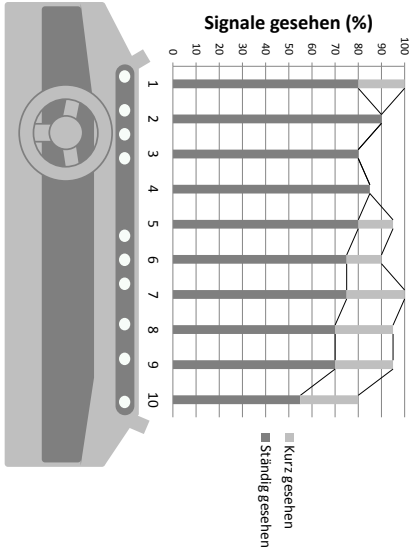
Periphere Wahrnehmung der Anzeige Der Blick auf die Straße ist die natürliche Blickrichtung bei der Fahrzeugführung. Es konnte gezeigt werden, dass bei dieser Blickrichtung die meisten der hier untersuchten peripheren Lichtsignale gesehen wurden. Nur 6 % der Signale im Kleinwagen, bzw. unter 2 % der Signale im Mittelklassewagen wurden beim Blick auf die Straße übersehen. Auch insgesamt für alle Blickrichtungen waren die Sichtbedingungen im Mittelklassewagen besser. Hier wurden nur halb so viele periphere Signale übersehen, wie im Kleinwagen. Dieser Wert konnte im Kleinwagen jedoch deutlich verringert werden, indem die Lichtleiste etwa 11 cm über der Scheibenwurzel angebracht wurde. Insgesamt wurden die Lichtreize zum Zeitpunkt des Aufleuchtens (»kurz gesehen«) deutlich besser wahrgenommen, als danach (»ständig gesehen«). Dieser Effekt zeigt die Bedeutung einer auffälligen Darbietung durch eine Helligkeitsänderung der Anzeige. Es ist davon auszugehen, dass die Sichtbarkeit zusätzlich noch durch größere und hellere Anzeigen oder den Einsatz von Animationen erhöht werden könnte. Damit ist die Frontscheibenwurzel gut für periphere Anzeigen geeignet.

Blicklenkung durch eine periphere Anzeige Plötzliche Helligkeitsänderungen im Sichtfeld können die Aufmerksamkeit eines Menschen gezielt ausrichten (Theeuwes, 1991; Remington et al., 1992; McCormick, 1997). Dieser gut erforschte Effekt der unwillkürlichen Aufmerksamkeitszuwendung konnte auch in diesem Versuch festgestellt werden. Die beobachtete Orientie-

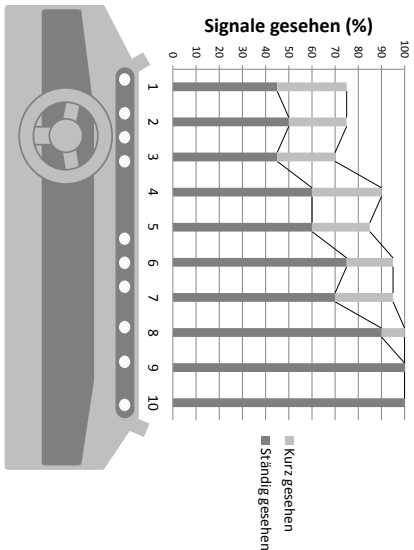
Blick zum linken Rückspiegel



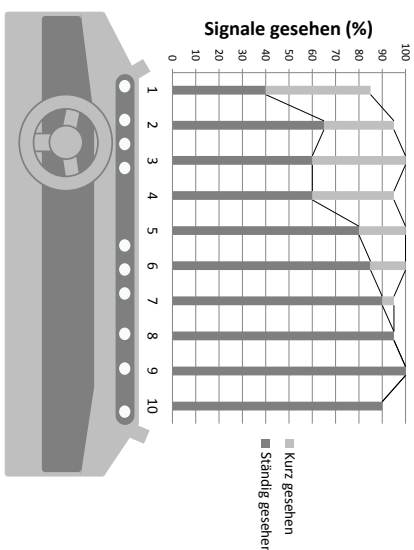
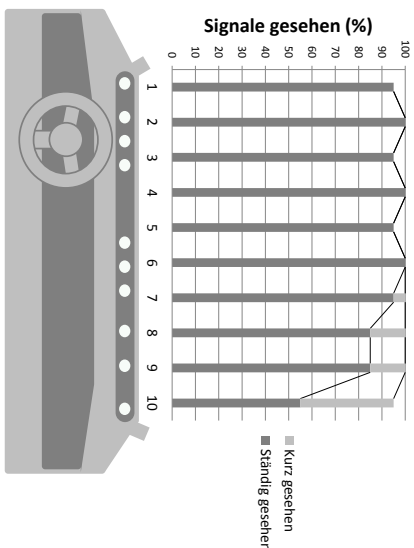
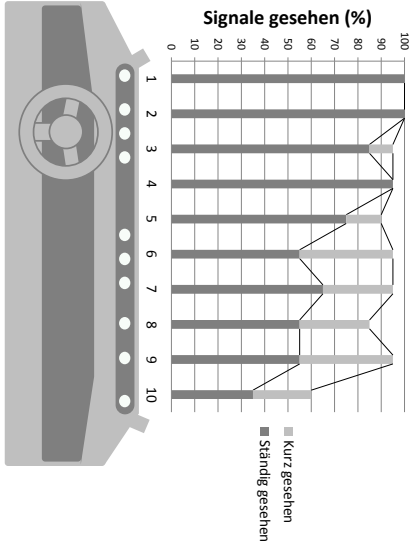
Blick zur Straße



Blick zum rechten Rückspiegel



Opel Corsa



VW Passat

Abbildung 4.5: Relative Häufigkeiten der peripheren Sichtbarkeit von Lichtsignalen im Opel Corsa (oben) und VW Passat (unten) beim Blick zum linken Rückspiegel, auf die Straße und zum rechten Rückspiegel. Die Beschriftung der X-Achse gibt die Signalnummer von links gezählt, die weißen Punkte darunter die tatsächlichen Signalpositionen wieder. Der leere Bereich bis zu den 100 % einer jeden Spalte zeigt an, wie viele Probanden das Signal nicht gesehen haben.

rungsreaktion auf sich verändernde Reize in der Peripherie zeigt das Potential einer peripheren Anzeige, den Blick der Fahrer gezielt auszurichten. Dies kann sich als nützlich erweisen, um Fahrer auf die Richtung von Gefahren hinzuweisen. Dieser Effekt könnte durch die gezielte Wahl der Position der Anzeige noch verstärkt werden. Bei Blicken in den linken oder rechten Rückspiegel verschob sich der Punkt der besten Sichtbarkeit nach links, beziehungsweise nach rechts. Eine mögliche Konsequenz für die Gestaltung wäre, dass bei der Signaldarbietung einer peripheren Warnung die Blickrichtung des Fahrers berücksichtigt wird. Während eine Warnung direkt vor dem Fahrer angezeigt wird, wenn dieser geradeaus schaut, könnte diese in die Blickrichtung versetzt dargeboten werden, wenn dieser gerade nach links oder rechts schaut. Auch eine blickfangende Animation wäre denkbar, welche in Blickrichtung versetzt beginnt, aber dann in die Zielrichtung animiert ist, um den Blick dorthin zu führen. Dies könnte auch ein dynamischer Ort, wie die Gefahrenrichtung, sein. Wenn der Fahrer gerade nach links schaut, ist ein Lichtsignal am besten im Bereich der linken A-Säule sichtbar. Wenn sich nun aber eine Gefahr von rechts nähert, könnte versucht werden, den Fahrer durch eine Animation von der Blickrichtung zur Gefahrenrichtung auf die Gefahr aufmerksam zu machen. Ein solches Konzept wird später in Kapitel 10 untersucht.

Sitzhöhe beeinflusst Sichtbarkeit Ein weiterer Aspekt dieser Untersuchung war es, festzustellen, ob für besonders kleine oder große Menschen Einschränkungen in der peripheren oder direkten Sicht im Bereich der Frontscheibenwurzel bestehen. Am Beispiel zweier Fahrzeugklassen konnte gezeigt werden, dass diese Einschränkungen nur im Kleinwagen vorlagen. Die beobachteten Verdeckungen hingen weniger mit der Körpergröße, als vielmehr mit der Sitzhöhe zusammen. Dies ist insofern relevant, als dass bei der Optimierung der Sichtbarkeit einer Anzeige an der Frontscheibenwurzel nur auf die tief sitzenden Menschen Rücksicht genommen werden muss. Besonders kleine Menschen passen bereits von sich aus ihre Fahrzeuge individuell an und haben daher mitunter weniger Sichteinschränkungen, als ihre größeren Mitmenschen. Eine einfache Lösung für die Sichteinschränkung stellen höhenverstellbare Sitze dar.

Verdeckungen nur hinter dem Lenkrad Die Verdeckungen traten nur im Bereich hinter dem Lenkrad auf. Dieser Bereich ist also kritisch für eine direkt auf den Fahrer ausgerichtete unscharfe Warnung. Eine indirekte Darbietung, beispielsweise über eine Einspiegelung an einer höheren Position in der Frontscheibe, könnte diesem negativen Effekt entgegen wirken. Das verwendete MMI hatte keinen Einfluss auf die Sichtbarkeit. Da die MMI-Bedingung allerdings nur im Passat getestet wurde, kann nicht ausgeschlossen werden, dass im Corsa Verdeckungen durch das MMI auftreten würden.

Fazit und Ausblick Die Ergebnisse aus dieser Studie bestätigen die Übertragbarkeit der Grundlagenforschung zur peripheren Wahrnehmung auf den Automobilkontext. Sie zeigen nicht nur, dass die Frontscheibenwurzel zur peripheren Warnung geeignet ist, sondern geben darüber hinaus Auskunft über die optimale Position der Anzeige innerhalb der Leiste und heben die Bedeutung und das Potential von Helligkeitsänderungen hervor.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss allerdings berücksichtigt werden, dass hier exemplarisch nur zwei Fahrzeuge untersucht wurden, was bedeutet, dass die Ergebnisse nicht direkt auf andere Fahrzeuge übertragbar sind, die sich in ihrem Aufbau von den getesteten Modellen signifikant unterscheiden. Die Studie lieferte erste Erkenntnisse im Bezug auf die Nutzung peripherer Sicht für Warnsysteme und welche Faktoren es dabei technisch zu berücksichtigen gilt. Diese Ergebnisse können als Grundlage für weitere Untersuchungen dienen. Um möglichst repräsentative Aussagen treffen zu können, wurden die Testfahrzeuge gezielt aus zwei weit verbreiteten Fahrzeugklassen gewählt. Da sich verschiedene Fahrzeugmodelle jedoch im Design der

Fahrerkabine unterscheiden, gelten die Aussagen zunächst nur für die getesteten Fahrzeuge, und Modelle mit ähnlichem Innenaufbau.

Wie zu Anfang kurz angesprochen wurden die hier genutzten Glühlämpchen aus praktischen Gründen der Versuchsdurchführung genutzt. Aufgrund der geringen Latenz, dem niedrigen Stromverbrauch und der hohen Lichtausbeute bieten sich für den Einsatz in einer Unscharfen Warnung eher LEDs an. Es ist möglich, dass die Sichtbarkeitsverteilungen bei LED-Anzeigen etwas anders aussehen. Wobei eher eine generell höhere Sichtbarkeit durch die stärkere Leuchtkraft als eine Veränderung der Form der Kurve zu erwarten ist.

Die Wahrnehmbarkeit und das Verständnis der angezeigten Botschaft sind Grundvoraussetzungen für jedes Assistenzsystem im Fahrzeug. Während in dieser Studie gezeigt werden konnte, dass die Unscharfe Warnung in der Peripherie gut sichtbar ist, ist weiterhin unklar, ob auch ihre Bedeutung verstanden wird. Diese Frage wird im nächsten Kapitel untersucht.

5 Wird eine Unscharfe Warnung intuitiv verstanden?

Zusammenfassung Die Unscharfe Gefahrenwarnung stellt Warnungen und Informationen ohne Symbole oder Schriftzeichen dar. Die folgende Studie untersuchte, ob eine periphere Warnmeldung intuitiv verständlich ist und das Fahrverhalten beeinflussen kann. Fahrer erlebten nacheinander eine Geschwindigkeits-, eine Auffahr- und eine Spurverlassenswarnung, ohne dass ihnen der Zweck vorher erklärt wurde. Außerdem gab es eine Kontrollbedingung ohne Warnung. Es zeigte sich, dass die Funktion der drei untersuchten Warnsysteme intuitiv verstanden wurden. Außerdem hielten sich die Fahrer mit einer Geschwindigkeitswarnung eher an die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit, obwohl sie nicht angewiesen wurden auf die Warnung zu reagieren. Die Unscharfe Warnung ist intuitiv verständlich und Fahrer passen aufgrund der Anzeige selbstständig ihr Verhalten an.

5.1 Einleitung

Nachdem in Kapitel 4 gezeigt werden konnte, dass sich der Bereich unter der Frontscheibe zur Anzeige von peripheren Signalen grundsätzlich eignet, soll in dieser Studie eine zweite wichtige Voraussetzung für den Einsatz einer Unscharfen Warnung überprüft werden. Wenn keine Symbole verwendet werden können und die Anzeige nur aus dem Augenwinkel gesehen wird, ist sie prinzipbedingt sehr generisch. Um die über diese Anzeige vermittelte Information zu nutzen, müssen die Fahrer den Grund der Warnung oder Information verstehen.

Es stellt sich die Frage, ob eine so gestaltete Warnbotschaft intuitiv verständlich ist und das Fahrverhalten überhaupt beeinflussen kann. Um diese Fragen zu beantworten, wurden in dieser Studie drei Warnsysteme mit einer Kontrollbedingung ohne System verglichen. Die Systeme kamen aus verschiedenen Anwendungsbereichen, um genügend Spielraum für die Interpretation ihrer Funktion zu geben. Die Probanden fuhren nacheinander mit einer »Geschwindigkeitswarnung«, einer »Auffahrwarnung« und einer »Spurverlassenswarnung«. Um die natürliche Reaktion der Fahrer auf die Warnungen zu beobachten und um prüfen zu können, ob sie die Bedeutung intuitiv verstehen, wurden die Funktion der Warnungen nicht erklärt. Dennoch hatten die drei untersuchten Systeme das Ziel die Fahrer zu einem sichereren Fahrstil in Hinsicht auf die drei Bereiche Reisegeschwindigkeit, den Sicherheitsabstand oder die Spurhaltung zu bewegen.

Fragestellung Im Vordergrund stand die Frage, ob die Probanden nach 20 min Fahrt in der Lage wären, die Funktion der jeweils erlebten Systeme korrekt zu beschreiben. Zusätzlich wurde vermutet, dass die Probanden ihr Fahrverhalten aufgrund der Anzeigen anpassen würden.

5.2 Methode

5.2.1 Versuchsdesign

Die Fragestellung wurde in einer Feldstudie im einfaktoriellen Messwiederholungsdesign mit dem Faktor »Warnsystem« und den Faktorstufen »Geschwindigkeitswarnung«, »Auffahrwarnung«, »Spurverlassenswarnung« und »Ohne Warnung« als Kontrolle untersucht. Als abhängige Variablen wurden das Fahrverhalten, die Systembewertung und die Funktionsbeschreibung der Systeme ausgewertet. Das Messwiederholungsdesign wurde gewählt, um den Einfluss durch Unterschiede zwischen den Probanden als Störvariable auszuschließen. Es wurde nicht davon ausgegangen, dass ein all zu starker Lerneffekt auftreten würde, da die drei Systeme sehr unterschiedlich waren. Auf jedem der vier Streckenabschnitte wurde mit einer anderen Warnung gefahren. Die Reihenfolge der Warnungen wurde nach der Methode des lateinischen Quadrats auf die Abschnitte verteilt, so dass über die Probanden hinweg alle Bedingungen gleich häufig auf allen Abschnitten auftraten. Auf diese Weise wurde verhindert, dass die verschiedenen Streckenabschnitte einen systematischen Einfluss auf die abhängigen Variablen hatten.

5.2.2 Stichprobe

Es nahmen 24 Probanden (50 % weiblich) im Alter von 18-33 Jahren (Median 21 Jahre) an dieser Studie teil. Alle Probanden waren im Besitz eines gültigen Führerscheins. Keiner der Probanden hatte außergewöhnlich intensive Erfahrungen mit FAS und damit einen Vorteil im Erkennen der Systeme. Es handelte sich überwiegend um Studenten der TU-Braunschweig, die ihren Führerschein seit vier Jahren (Median) besaßen. Die mittlere Fahrleistung betrug unter 9 000 km im Jahr. Die Stichprobe enthielt in etwa gleich viele Fahrer die nach eigenen Angaben einen »eher ruhigen« oder »eher dynamischen« Fahrstil hatten. Um Wahrnehmungsschwierigkeiten aufgrund der Sehstärke zu vermeiden, verfügten die Probanden über normale oder auf normales Niveau korrigierte Sicht. Die Teilnehmer erhielten wahlweise eine Aufwandsentschädigung von 30,- Euro oder drei VP-Stunden, die sie für ihr Studium benötigten.

5.2.3 Material

Versuchsfahrzeug Für die Datenerhebung wurde ein umgebauter VW Golf V verwendet. Dieser verfügte über eine LED-Leiste, die an der Wurzel der Frontscheibe angebracht war. Im Kofferraum befand sich ein Rechner mit dem die Fahrdaten während des Versuchs aufgezeichnet wurden. Das Fahrzeug verfügte außerdem über eine Fahrschulpedalerie am Beifahrersitz, so dass der Versuchsleiter im Notfall eingreifen konnte.

LED-Leiste und Helligkeitsanpassung Die verwendete Leiste war 120 cm lang und reichte somit über die gesamte Breite der Frontscheibe. Sie bestand aus 120 RGB-LEDs, die durch einen Mikrocontroller einzeln angesteuert werden konnten. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Laquai et al. (2010), wurde die Helligkeit der LEDs an die Lichtverhältnisse der Umgebung angepasst, um eine Blendung der Fahrer zu vermeiden. Als objektiver Referenzwert wurde vor jeder Fahrt der Widerstand einer Photodiode gemessen. Um Schwankungen auszugleichen, wurden jeweils fünf Messungen bei unterschiedlicher Ausrichtung der Diode vorgenommen und der Mittelwert bestimmt. Die erste Messung wurde mit zum Himmel zeigender Diode in der Mitte zwischen Fahrer und Beifahrersitz in einer Höhe von ca. 40 cm vorgenommen. Die weiteren Messungen jeweils mit einer Neigung von 45° von der Ausgangslage Richtung Beifahrertür und dann von dieser Orientierung in Abständen von 90° um die Ausgangsposition herum.

Um die idealen Helligkeitswerte zu ermitteln, wurden in einem Vorversuch sechs Probanden gebeten, die Helligkeit der LED-Leiste bei unterschiedlichen Umgebungslichtverhältnissen auf

ein für sie angenehmes Niveau einzustellen. Die Umgebungshelligkeit wurde dabei mit der Photodiode gemessen. Anhand dieser Daten konnte eine Verteilungsfunktion berechnet werden, um die Helligkeit der LEDs auf die jeweiligen Lichtverhältnisse während des Versuchs anzupassen.

Versuchsstrecke Um die Repräsentativität zu erhöhen und genügend Gelegenheiten für die Aktivität der Assistenzsysteme zu erhalten, wurde eine Versuchsstrecke gewählt, die sowohl über verschiedene Richtgeschwindigkeiten, als auch über eine mittlere Verkehrsdichte verfügte. Der Einfluss durch andere Verkehrsteilnehmer neben Kraftfahrzeugen sollte minimiert werden. Daher fand die Datenerhebung ausschließlich auf der Autobahn statt. Die Fahrer fuhren während des Versuchs einmal von Braunschweig nach Echte und wieder zurück. Der Weg führte über die A39 und A7 und wurde in vier Abschnitte aufgeteilt (Abbildung 5.1). Die Abschnitte waren in etwa gleich lang (A und D = 40 km, B und C = 33 km). Auf den Abschnitten A und D gab es einige Baustellen und dadurch mehrere Geschwindigkeitsbegrenzungen zwischen 60 und 120 km/h. Auf den Abschnitten B und C gab es hingegen kaum Baustellen und nur sehr wenige Geschwindigkeitsbegrenzungen. Die Fahrtzeit pro Abschnitt betrug 20-25 min. Zwischen den Abschnitten gab es je eine kurze Pause auf einem Rastplatz.

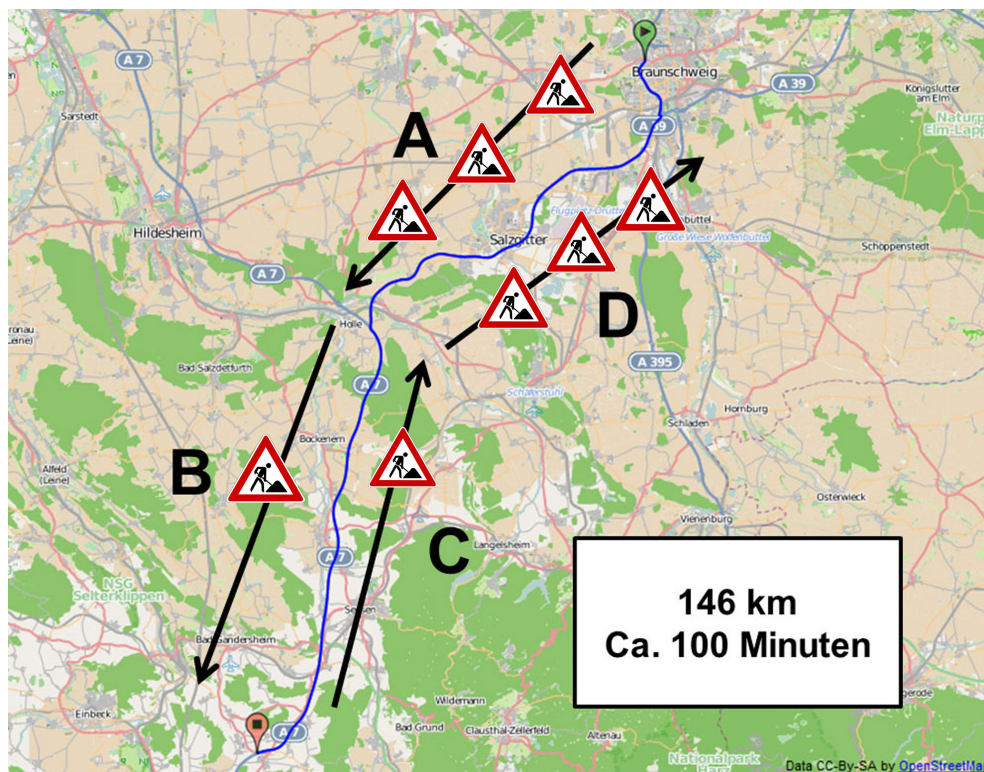


Abbildung 5.1: Die Versuchsstrecke. Die Probanden fuhren von Braunschweig nach Echte und zurück. Die Abschnitte mit hoher Anzahl an Baustellen sind schematisch markiert, aber die Symbole geben nicht die tatsächliche Anzahl und Position an. Das Kartenmaterial wurde freundlicherweise von OpenStreetMap unter der CC-BY-SA 2.0 Lizenz zur Verfügung gestellt. © OpenStreetMap-Mitwirkende <http://www.openstreetmap.org/copyright>

Warnungen Alle drei untersuchten Warnsysteme wurden rein visuell und nur über die beschriebene LED-Leiste dargeboten. Um die Funktion zu verdeutlichen, waren alle Warnungen so gestaltet, dass die Fahrer ein direktes Feedback auf ihr Verhalten erhielten. Anstelle einer einfachen Grenze, ab der die Warnung aktiv wurde, reagierte die Anzeige kontinuierlich auf das Verhalten der Fahrer. Die Größe, Position, Helligkeit oder Farbe der Warnung wurde an

die Fahrgeschwindigkeit, den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug oder der Spurposition angepasst. Auf diese Weise erhielten die Fahrer eine wertende Rückmeldung über ihr Fahrverhalten in Form eines fließenden Übergangs zwischen normaler Fahrsituation und Warnereignis. Auf diese Weise kam eine begleitende Systemaktivität zustande. Um den Fahrer nicht abzulenken, wurden die Rückmeldungen möglichst wenig invasiv gestaltet. Nur wenn die zulässige Höchstgeschwindigkeit deutlich überschritten, sich zu schnell einem vorausfahrenden Fahrzeug genähert oder die Spur verlassen wurde, gab es eine auffällige Warnung.

Die »Geschwindigkeitswarnung« bestand aus einem 40 cm breiten roten Lichtbalken, welcher mittig vor dem Fahrer angezeigt wurde. Die Warnung wurde nur aktiv, wenn mindestens 10 km/h zu schnell gefahren wurde. Die Helligkeit wurde äquivalent zur Intensität der Übertretung geregelt. Bei einer leichten Übertretung leuchtete die Anzeige nur schwach auf, bei einer starken Übertretung intensiv. Ab einer Geschwindigkeitsübertretung von 20 km/h begann die Anzeige langsam zu pulsieren, indem die Helligkeit mit 0.3 Hz auf und abgeblendet wurde (Abbildung 5.2, A).

Die »Auffahrwarnung« wurde nur aktiv, wenn sich ein anderes Fahrzeug im Sensorbereich vor dem Egofahrzeug befand. War dies der Fall, leuchtete mittig vor dem Fahrer ein Balken auf, welcher anhand seiner Farbe und Breite die Entfernung zum Vorderfahrzeug wiedergab. Befand sich das Fahrzeug weit weg, war der Balken nur 2 cm breit und grün gefärbt. Verringerte sich der Abstand, wuchs der Balken und färbte sich ab einer Time Headway (TH) von weniger als 1.3 s zuerst orange, später bei einem Abstand von weniger als 0.7 s rot. Wenn ein Aufprall kurz bevor stand, wuchs die Anzeige auf die gesamte Leistenbreite, wurde rot und blinkte mit 4 Hz (Abbildung 5.2, B).

Die »Spurverlassenswarnung« bestand aus einem 20 cm breiten weißen Balken, welcher in seiner Position von der Position des Fahrzeugs auf der Spur abhängig war. Wenn der Fahrer mittig auf der Spur fuhr, befand sich der Balken genau vor ihm. Bei Abweichungen nach links oder rechts bewegte sich der Balken in die entgegengesetzte Richtung. Auf diese Weise befand sich der Balken immer auf der Seite des Fahrers, in die er fahren musste, um wieder in die Spurmitte zu gelangen. Das System wies außerdem durch Blinken auf ein Verlassen der Spur hin. Wenn eine Spurmarkierung überquert wurde, blinkte der Balken mit 4 Hz auf. Wurde keine Spur erkannt, sprang der Balken in die Mitte der LED-Leiste und leuchtete nur noch schwach. Auf diese Weise sollte die Inaktivität des System mitgeteilt werden (Abbildung 5.2, C).

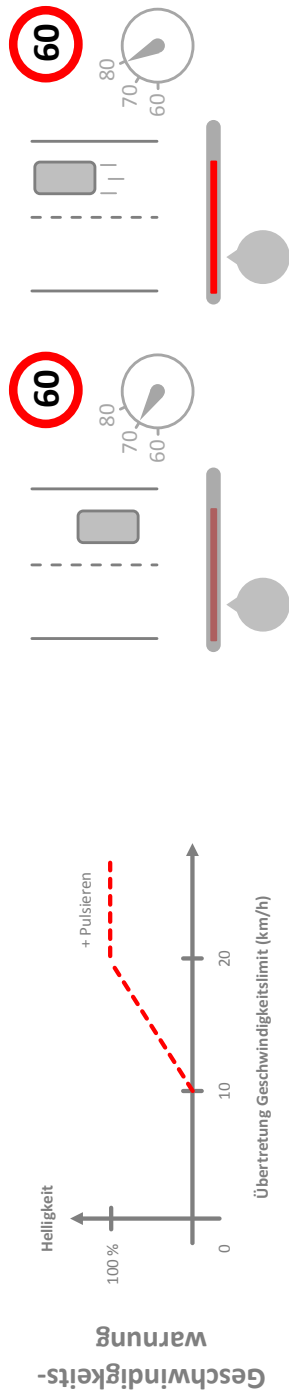
5.2.4 Ablauf

Die Probanden füllten einen demographischen Fragebogen aus und wurden über den Versuch und den Hintergrund der Untersuchung informiert. Alle Probanden stimmten außerdem der anonymen Verarbeitung der im Versuch erhobenen Daten zu. Daraufhin stellten sie den Sitz und die Rückspiegel auf ihre Größe ein. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die Sicht auf die LED-Leiste nicht durch das Lenkrad verdeckt wurde. Danach fuhren sie eine 1 km lange Strecke zu einem Parkplatz. Auf dieser kurzen Fahrt konnten sich die Probanden auf das Testfahrzeug einstellen. Der Parkplatz wurde genutzt, um die Helligkeit der LED-Leiste an die gegebenen Lichtverhältnisse anzupassen.

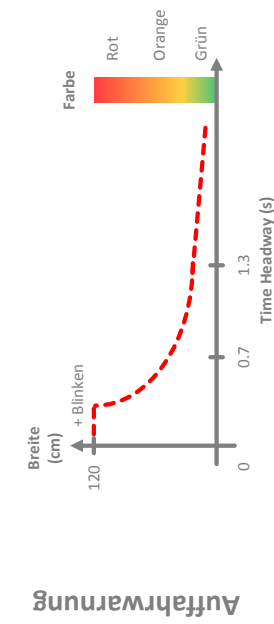
Die Probanden wurden darüber aufgeklärt, dass sie mit drei neuartigen Assistenzsystemen fahren würden, deren Wirkung erforscht werden soll. Ihnen wurde aber nicht mitgeteilt, um welche Systeme es sich dabei handeln würde. Ihre Aufgabe war es, herauszufinden, welche Botschaft das jeweilige System ihnen vermitteln soll. Daraufhin fuhren die Probanden zur Autobahnauffahrt und die Versuchsfahrt begann mit der ersten Bedingung.

Neben dem Probanden befanden sich zwei weitere Personen im Fahrzeug. Der Versuchsleiter saß auf dem Beifahrersitz, um im Notfall über die zweite Pedalerie eingreifen zu können. Eine Assistentin des Versuchsleiters saß auf dem Rücksitz hinter dem Fahrer. Während der Fahrt gab

A



B



C

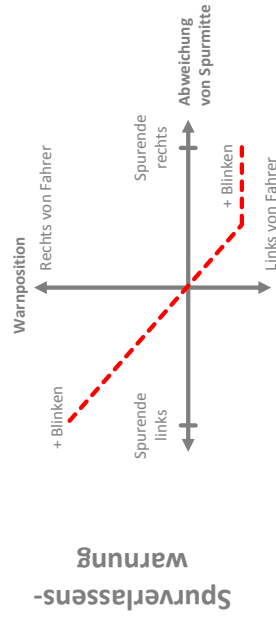


Abbildung 5.2: Die Fahrer wurden insgesamt mit drei Warnsystemen konfrontiert. Die Geschwindigkeitswarnung (A) wurde nur aktiv, wenn mehr als 10 km/h über dem aktuellen Geschwindigkeitslimit gefahren wurde. Sie war in Form eines roten Balkens vor dem Fahrer sichtbar. Die Helligkeit des Balkens nahm mit stärkerer Übertretung zu und fing bei einer Übertretung von 20 km/h über dem Limit an in der Helligkeit zu pulsieren. Die Auffahrwarnung (B) war in Form eines kleinen grünen Balkens vor dem Fahrer sichtbar, wenn sich ein Fahrzeug vor dem Fahrer befand. Die Größe und Farbe des Balkens veränderten sich bei abnehmenden Abstand unter Berücksichtigung der aktuellen Geschwindigkeit. Je geringer der Abstand, desto rötlicher und größer wurde der Balken. Bei sehr geringem Abstand blinkte der Balken, um auf die Gefahr hinzuweisen. Die Spurverlassenswarnung (C) war ständig als weißer Balken mittig vor dem Fahrer sichtbar. Wenn das Fahrzeug sich dem Spurrand näherte, bewegte sich der Balken in die entgegengesetzte Richtung. Er gab dadurch die Richtung an, in die gefahren werden sollte, um wieder in die Spurmitte zu gelangen. Beim Übertreten einer Spurmarkierung blinkte die Anzeige. Der Verlauf aller Warnungen ist hier zur besseren Lesbarkeit schematisch dargestellt und entspricht nicht exakt dem Ablauf.

sie die aktuellen Geschwindigkeitsbegrenzungen in das System ein, da diese nicht automatisch erkannt werden konnten. Die neue Geschwindigkeit wurde jeweils in dem Moment aktiv, in dem ein Schild mit der Begrenzung passiert wurde. Die Eingabe erfolgte leise und war über das Motorengeräusch kaum zu hören. Mehrere Probanden erkundigten sich nach dem Versuch darüber, wie das System die Geschwindigkeitsbegrenzung automatisch so gut erkennen konnte. Dies deutet darauf hin, dass die Probanden die manuelle Eingabe nicht bemerkten.

Nachdem ein Abschnitt absolviert war, beantworteten die Probanden schriftlich einen kurzen Fragebogen, in dem sie die Warnung beurteilten und die vermutete Funktion der Warnung beschrieben. Während der Fahrt wurden Gespräche mit dem Fahrer vermieden, um die Ablenkung zu minimieren. Die Versuchsdauer betrug etwa drei Stunden.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Datenaufbereitung

Alle Effekte werden ab $p < .05$ als signifikant berichtet. Da bei Messwiederholungsdesigns die Varianz zwischen den Probanden ignoriert werden kann (Loftus & Masson, 1994), werden in allen Diagrammen Fehlerbalken für Messwiederholungsdesigns korrigiert dargestellt. Bei allen Auswertungen, bei denen es angemessen war, wurde die Voraussetzung der Normalverteilung der Daten sowohl visuell, als auch mit dem Kolmogorov-Smirnov Test überprüft. Im Folgenden wird nur noch berichtet, ob es Hinweise auf Verletzung der Annahme gab.

Wetter Der Versuch fand im Januar und Februar 2010 statt. Während der Datenerhebung wechselte das Wetter zwischen Schneefall und strahlendem Sonnenschein. Obwohl das Wetter die Datenerhebung insgesamt kaum beeinträchtigte, gab es zwei Fälle, in denen die Daten von Probanden nicht verwendet werden konnten. Die Spurerkennungs- und Abstandssensoren des Fahrzeugs waren hier durch Schnee stark beeinträchtigt. Diese beiden Probanden wurden durch zwei neue Probanden ersetzt.

5.3.2 Waren die Warnungen intuitiv verständlich?

Die Probanden haben nach jeder erlebten Warnung die von ihnen vermutete Funktion des Systems in eigenen Worten kurz auf einem Fragebogen notiert. Nach der Datenerhebung wurden diese Antworten von zwei Ratern unabhängig voneinander gelesen und klassifiziert. Die Rater hatten die Aufgabe, jeweils zu entscheiden, ob die Funktion der Anzeige korrekt beschrieben wurde oder nicht. Eine Antwort galt dann als korrekt, wenn sie das zu erreichende Fahrverhalten oder den Grund für die Warnung beschrieb. Beispiele für richtige Antworten bei der »Geschwindigkeitswarnung« sind: »Das System zeigt an, wenn man zu schnell fährt«, »Aufmerksam machen auf zu schnelles Fahren«, »Überprüfung der Geschwindigkeit«. Beispiel für eine falsche Antwort bei der »Geschwindigkeitswarnung«: »Baustellen Ein- und Ausfahrt oder Verengung bzw. weniger Fahrstreifen«. Nur die von beiden Ratern als »richtig« markierten Antworten gingen mit in die Fahrdatenauswertung ein. Die Raterübereinstimmung betrug $\kappa = .70$ und kann damit als gut angesehen werden (Landis & Koch, 1977).

Es zeigte sich, dass die Probanden sehr gut dazu in der Lage dazu waren, die Funktion der Warnungen zu erkennen, obwohl ihnen keine Informationen über das System gegeben wurden (Abbildung 5.3). Über 87 % der Fahrer erkannten die Systemfunktion unabhängig vom erlebten System.

Es gab einige Situationen in denen die Anzeige nicht wie vorgesehen in Funktion erlebt werden konnte. So kam es mitunter aufgrund von fehlenden Spurmarkierungen an Baustellen oder durch Schnee verdeckte Markierungen zu einer Fehlfunktion der Spursensoren. Dies beeinträchtigte

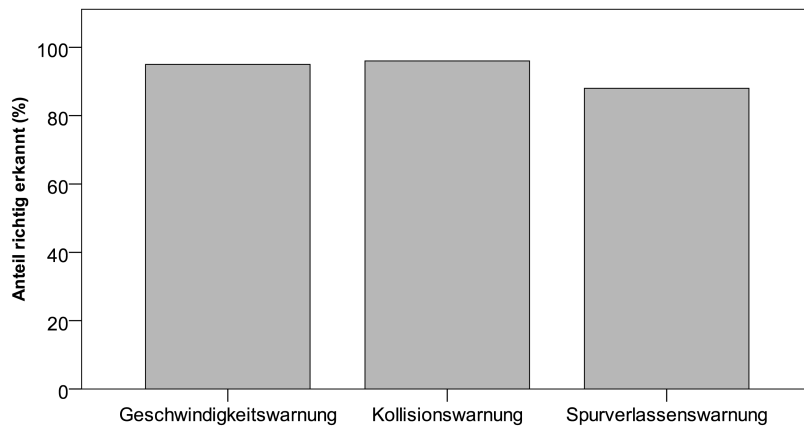


Abbildung 5.3: Anteil an Probanden, welche die Systemfunktion richtig erkannt haben, aufgeteilt nach erlebtem System. Unabhängig von der erlebten Warnung haben mindestens 88 % der Probanden die Funktion richtig erkannt.

die Funktion der »Spurverlassenswarnung«. Auch wurden einige Probanden aufgrund ihrer Fahrweise oder der Verkehrslage mit bestimmten Warnungen nicht konfrontiert. So gab es einen Probanden, der niemals zu schnell fuhr und daher die »Geschwindigkeitswarnung« nicht erlebte. Bereinigt man die Messwerte um diese Beeinträchtigungen, welche auf die Sensorik und das Fahrverhalten zurück zu führen sind, erhöht sich die korrekte Systemerkennung auf über 95 % der Fahrer.

5.3.3 Wurde das Fahrverhalten durch die Warnungen beeinflusst?

Geschwindigkeitswarnung Das Ziel der »Geschwindigkeitswarnung« war es, die Fahrer dazu zu bringen, sich stärker an Tempolimits zu halten. Um den Effekt zu prüfen, wurden die mittlere Dauer und die Anzahl der Geschwindigkeitsübertretungen der Kontrollfahrt und der Fahrt mit der »Geschwindigkeitswarnung« verglichen. Die beiden Bedingungen wurden mit einem t-Test für verbundene Stichproben miteinander verglichen. »Ohne Warnung« fuhren die Fahrer signifikant länger zu schnell als mit »Geschwindigkeitswarnung« $t(22) = -5.03, p < .001, r = .73$ (Abbildung 5.4).

Als weiterer Indikator für die Wirkung der Warnung wurde die Anzahl der Geschwindigkeitsübertretungen betrachtet. Die beide Bedingungen wurden auch hier mit einem t-Test für verbundene Stichproben miteinander verglichen. Es zeigte sich, dass bei Fahrten mit »Geschwindigkeitswarnung« signifikant mehr Geschwindigkeitsübertretungen auftraten, als »ohne Warnung« $t(22) = 3.12, p = .005, r = .55$ (Abbildung 5.5). Dieses Ergebnis wirkt zunächst überraschend. Wenn mit Geschwindigkeitswarnung häufiger zu schnell gefahren wurde, wie kann dann die mittlere Dauer der Übertretung dennoch mit Warnung geringer sein? Um dies herauszufinden, wurden die Fahrtverläufe der einzelnen Probanden genauer angeschaut. Hier stellte sich heraus, dass Fahrer »ohne Warnung« ihre Geschwindigkeit hielten, wenn sie zu schnell waren, während die Fahrer mit »Geschwindigkeitswarnung« um die Grenze der zulässigen Geschwindigkeit pendelten (Abbildung 5.6). Die Probanden passten ihr Fahrverhalten also an die Warnung an, versuchten allerdings immer wieder schneller zu fahren, nur um dann wieder abzubremsen, wenn die Warnung aktiv wurde.

Weiterhin gab es Hinweise darauf, dass die Fahrer schon auf ein schwaches Aufleuchten der Warnung reagierten. Ein Aufleuchten wurde dann als schwach eingestuft, wenn die Leuchttintensität weniger als die Hälfte der maximalen Leuchtkraft betrug. Dies entsprach einer leichten Geschwindigkeitsübertretung von weniger als 15 km/h. Wenn die Fahrer nun durch die »Ge-

schwindigkeitswarnung« auf das zu schnelle Fahren hingewiesen wurden, waren 67 % der Übertretungen leicht, im Gegensatz zu 41 % bei Fahrten »ohne Warnung« und somit ohne Hinweis (Abbildung 5.7).

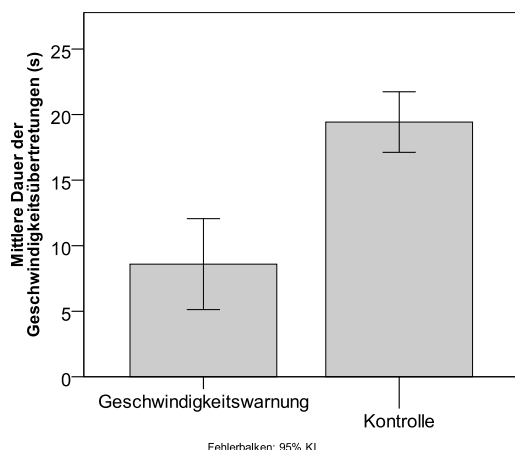


Abbildung 5.4: Mittlere Dauer der Geschwindigkeitsübertretungen, aufgeteilt nach erlebtem System. Im Schnitt wurde ohne die Geschwindigkeitswarnung 11 s länger zu schnell gefahren.

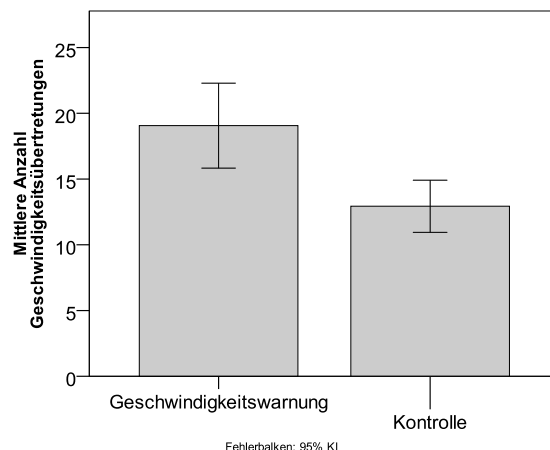


Abbildung 5.5: Mittlere Anzahl an Geschwindigkeitsübertretungen, aufgeteilt nach erlebtem System. Mit Geschwindigkeitswarnung gab es im Schnitt sechs Übertretungen mehr, als ohne.

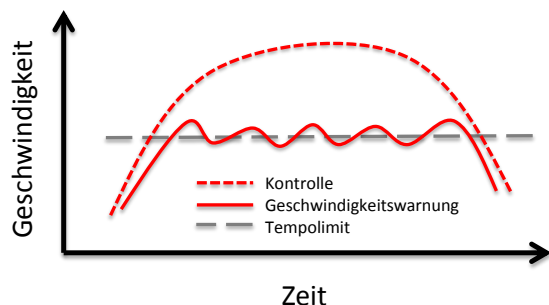


Abbildung 5.6: Fahrverhalten mit und ohne Geschwindigkeitswarnung relativ zum Tempolimit schematisch. Mit Geschwindigkeitswarnung wurde häufiger zu schnell gefahren, da die Fahrer um die erlaubte Geschwindigkeit pendelten.

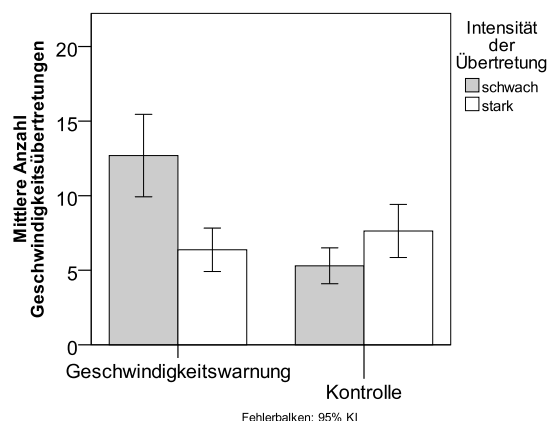


Abbildung 5.7: Anzahl leichter und starker Geschwindigkeitsübertretungen aufgeteilt nach Warnung. Mit Warnung gab es mehr schwache Übertretungen (<15 km/h zu schnell) als in der Kontrollbedingung.

Auffahrwarnung Die »Auffahrwarnung« sollte zu dichtes Auffahren vermeiden, indem sie den Abstand zum Vorderfahrzeug relativ zur aktuellen Geschwindigkeit wertend an die Fahrer zurückmeldete. Eine Wirkung sollte sich darin zeigen, dass die Fahrer seltener zu dicht auf ihr Vorderfahrzeug auffahren. In dieser Studie wurde ein Mindestabstand von einer TH von weniger als 1.4 s als zu dichtes Auffahren betrachtet. Die Werte wurden um plötzliches Einscheren hinter einem Fahrzeug und das Heranbeschleunigen beim Überholen bereinigt. Diese Ereignisse wurde anhand des Abstandes zum Vorderfahrzeug und den eigenen Spurwechseln identifiziert.

Wenn der Abstand zum Vorderfahrzeug sprunghaft auf einen sehr niedrigen Wert wechselte und ein Spurwechsel stattfand, wurde dies als dichtes Einscheren gewertet. Wenn der Abstand sprunghaft auf einen sehr hohen Wert wechselte und ein Spurwechsel stattfand, wurde dies als ein Überholmanöver gewertet.

Die Anzahl der Situationen, in denen die Probanden zu dicht auffuhren, wurde zwischen der Fahrt mit der »Auffahrwarnung« und der Fahrt »ohne Warnung« verglichen. Die Daten waren nicht normalverteilt, daher wurden beide Bedingungen mit einem Wilcoxon Vorzeichen-Rang Test für verbundene Stichproben miteinander verglichen. Mit »Auffahrwarnung« fuhren die Probanden tendenziell seltener zu dicht auf, als wenn sie ohne Warnung fuhren, der Unterschied wurde jedoch nicht signifikant $z = -1.76$, $p = .082$, $r = -.36$ (Abbildung 5.8).

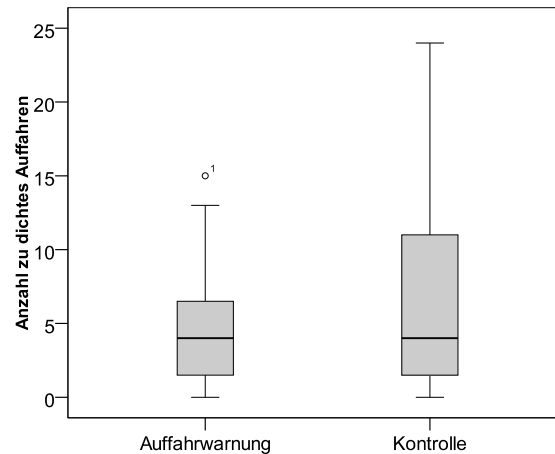


Abbildung 5.8: Anzahl der Situationen, in denen zu dicht aufgefahren wurde, aufgeteilt nach Warnung. Ohne Auffahrwarnung wurde etwa doppelt so häufig zu dicht aufgefahren.

Um zu prüfen, ob der allgemeine Sicherheitsabstand zum Vorderfahrzeug durch die Warnung beeinflusst wurde, wurde dieser auf Unterschiede zwischen der Bedingung mit »Auffahrwarnung« und der Fahrt »ohne Warnung« geprüft. Die Bedingungen wurden mit einem t-Test für verbundene Stichproben miteinander verglichen. Der allgemeine Sicherheitsabstand zum Vorderfahrzeug wurde nicht signifikant durch die Warnung beeinflusst $t(22) = -.25$, $p = .804$, $r = -.05$. Die Probanden sind unabhängig von der Bedingung mit einem mittleren Abstand von $TH = 2.5$ s zum Vorderfahrzeug auf der Autobahn gefahren.

Spurverlassenswarnung Dieses System teilte dem Fahrer kontinuierlich seine Position auf der aktuellen Fahrspur mit und warnte beim Übertreten der Spurmarkierung. Eine positive Wirkung des Systems sollte sich in weniger unerwünschtem Abkommen von der Spur zeigen oder in einer generell genaueren Spurhaltung. Das unerwünschte Abkommen von der Spur wurde in dieser Studie nicht untersucht, denn normalerweise kommen Fahrer nur dann von der Spur ab, wenn sie auf irgendeine Weise beeinträchtigt sind. Aus Sicherheitsgründen wurde darauf verzichtet, diesen Zustand während des Versuchs herbeizuführen. Stattdessen wurde die allgemeine Spurhaltungsqualität ausgewertet. Hier wurden zum Einen die mittlere Abweichung von der Spurmitte und die mittlere Abweichung von der persönlichen Ideallinie betrachtet.

Die Annahme der Normalverteilung war für die mittlere Abweichung von der Spurmitte verletzt, daher wurden die beiden Bedingungen »Spurverlassenswarnung« und »ohne Warnung« mit dem Wilcoxon-Vorzeichen Rang Test verglichen. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen $z = -1.08$, $p = .292$, $r = -.22$.

Die Standardabweichung von der persönlichen Ideallinie ist oft ein besseres Maß für die Spurhaltung, da Fahrer selten genau mittig in einer Spur fahren. Daher wurden auch hier die

Bedingungen mit einem t-Test für verbundene Stichproben miteinander verglichen. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Bedingungen $t(22) = -1.05$, $p = .305$, $r = .22$. Es gab somit keine Hinweise darauf, dass die »Spurverlassenswarnung« das Fahrverhalten beeinflusst hat.

5.3.4 Wie wurden die drei Systeme beurteilt?

Die drei getesteten Warnungen waren auch bei normalem Verhalten während der Fahrt aktiv und dadurch eine längere Zeit sichtbar als andere Systeme. Hier stellt sich die Frage, ob die Fahrer sich durch die begleitende Anzeige gestört oder unterstützt gefühlt haben. Um dies herauszufinden, wurden alle Probanden gebeten, die Systeme entweder als »eher hilfreich«, »neutral« oder »eher störend« zu beurteilen. Die Mehrheit der Probanden beurteilte die »Geschwindigkeitswarnung« und »Auffahrwarnung« positiv, nur die »Spurverlassenswarnung« wurde sehr negativ beurteilt (Abbildung 5.9). Zusätzlich wurde den Probanden die Möglichkeit gegeben, freie Anmerkungen zu den Warnsystemen zu machen. Zwei Aussagen wurden besonders häufig genannt. Zum Einen wünschten sich die Probanden, dass die Warnung nur aktiv wird, wenn auch eine Gefahr vorliegt. Zum Anderen wurde gewünscht, dass die Warnstufen an vorherrschende Strafsysteme gekoppelt werden. So wurde vorgeschlagen, Warnungen dann anzuzeigen, wenn das aktuelle Fahrverhalten zu Punkten in Flensburg führen würde oder ein Blitzer bevorsteht.

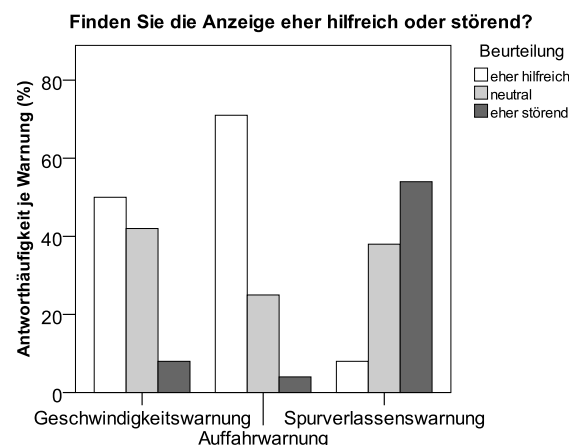


Abbildung 5.9: Beurteilungen der untersuchten Systeme. Während die Geschwindigkeits- und Auffahrwarnungen neutral bis hilfreich beurteilt wurden, wurde die Spurverlassenswarnung eher als störend empfunden.

5.4 Diskussion

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob Unscharfe Warnungen intuitiv verstanden werden und ob Fahrer von sich aus ihr Verhalten aufgrund der Anzeige anpassen.

Die Unscharfe Warnung ist intuitiv verständlich Die Probanden waren dazu in der Lage, die Systemfunktion innerhalb einer 20 minütigen Fahrt ohne zusätzliche Erläuterung der Funktion selbstständig zu erkennen. Die hohe Erkennungsrate ist vermutlich auf die zum Fahrverhalten analoge Animation der Anzeigen zurückzuführen. Die Fahrer erlebten, wie die Anzeige auf ihr Verhalten reagierte und hatten durch die begleitende Aktivität der Anzeige viele Gelegenheiten die Reaktionen der Anzeige zu beobachten. Ein klassisches Warnsignal wird nur

kurz in einer seltenen Gefahrensituation eingeblendet. Der Vorteil der ständigen Darbietung liegt darin, dass Fahrer die Animation der Anzeige als Reaktion auf ihre Fahrverhalten erleben können und diese somit mit einer Funktion in Verbindung bringen können. Die Bedeutung der Anzeige ist dadurch leichter verständlich. Damit das Konzept funktioniert, muss die Anzeige in mehreren feinen Abstufungen auf verschiedene Fahrerreaktionen reagieren können. Beispielsweise wäre eine Richtungsangabe mit 30 Stufen besser, als eine mit 3 Stufen, da mit den vielen Freiheitsgraden eine höhere Korrelation zum eigenen Verhalten möglich wird. Dadurch lässt sich das Feedback der Anzeige präziser auf das eigene Verhalten zurückführen. Vermutlich würde die Anzeige weniger gut verstanden werden, wenn sie seltener aktiv wäre oder über eine gröbere Auflösung verfügen würde. Diese Hypothesen sollten in zukünftigen Studien geprüft werden.

Die wenigen unzutreffenden Beschreibungen der Systemfunktion kamen überwiegend von Probanden, die aufgrund ihrer Fahrweise oder der natürlichen Verkehrssituation das System nicht oder nur wenig in Aktion erleben konnten. Obwohl die Anzeige hier als »nicht erkannt« gewertet werden musste, war dies keine Schwäche der Anzeige, da sie für diesen Fahrer einfach nicht relevant war.

Die Warnung beeinflusst das Fahrverhalten Besonders interessant ist, dass die Probanden bei der Fahrt mit der »Geschwindigkeitswarnung« von selbst seltener zu schnell fuhren, obwohl sie nicht angewiesen worden sind ihr Verhalten nach der Warnung auszurichten. Die Probanden taten dies von sich aus. Warum haben Sie ihr Verhalten aufgrund der »Geschwindigkeitswarnung« angepasst, aber nicht bei den beiden anderen Systemen? Ein möglicher Grund wäre die Gestaltung der Systeme. Aber es könnte auch sein, dass die »Geschwindigkeitswarnung« die höchste unmittelbare Relevanz für die Fahrer hatte. Während der Fahrt bestand durchaus die Gefahr geblitzt zu werden und für eine Geschwindigkeitsübertretung eine Strafgebühr zahlen zu müssen. Hingegen war es sehr unwahrscheinlich für zu dichtes Auffahren oder Spurverlassen zur Rechenschaft gezogen zu werden. Im Gegensatz zu den beiden anderen Systemen stellte die »Geschwindigkeitswarnung« somit einen Indikator für eine mögliche Bestrafung dar, welche die Fahrer unmittelbar betreffen konnte. Dies ist interessant, da die Fahrer aufgrund des Tachometers auch in der Kontrollbedingung über die notwendige Information verfügten. Dennoch führte nur die Fahrt mit Unscharfer Warnung zur Geschwindigkeitsanpassung. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Unscharfe Warnung auffälliger war und daher schwerer zu ignorieren. Eine andere Erklärung wäre, dass die »Geschwindigkeitswarnung« im Gegensatz zum Tachometer aktiv auf den Moment der Geschwindigkeitsübertretung hinwies. Gerade das Pendeln um die zulässige Höchstgeschwindigkeit deutet darauf hin, dass der aktive Hinweis und damit die Erinnerung an das Fehlverhalten eine Rolle gespielt hat. Die Ursache könnte auch in der unscharfen Darbietung liegen. Da der Tacho mit kleinen Zahlen beschriftet ist, ist der Aufwand des Ablesens während der Fahrt größer, als bei der größeren und symbolfreien LED-Leiste. Vielleicht haben die Fahrer häufiger auf die Leiste reagiert, da es ohne großen Aufwand möglich war.

Unabhängig von der Ursache wurde bereits auf ein leichtes Aufleuchten der Anzeige reagiert. Das periphere schwache Aufleuchten eines roten Lichtbalkens konnte das Verhalten also besser beeinflussen, als ein die reguläre Anzeige eines Tachometers. In der konservativsten Interpretation zeigt sich darin zumindest das Potential von Anzeigen, welche über die Information aktueller Geschwindigkeitslimits verfügen und diese dynamisch an die Fahrer zurückmelden. Auch hier ist zusätzliche Forschung notwendig, um festzustellen, ob dieser Effekt auf die Unscharfe Warnung, die dynamische Darbietung, die großflächige Anzeige oder evtl. sogar die Anwesenheit der Versuchsleiter in Kombination mit der großen Anzeige zurückzuführen ist.

Die Warnungen werden überwiegend positiv beurteilt Die Probanden begrüßten die neue Form der Assistenz und beurteilten sowohl die »Auffahr-«, als auch die »Geschwindigkeitswar-

nung« überwiegend positiv. Die »Geschwindigkeitswarnung« wurde dabei häufig auch neutral bewertet. Vermutlich lag dies darin begründet, dass die Fahrer sich nicht gerne bei der Wahl der Geschwindigkeit bevormunden lassen. Die »Spurverlassenswarnung« wurde überwiegend negativ beurteilt. Dies war vermutlich auf die Gestaltung der Anzeige zurückzuführen. Als einzige Anzeige war die »Spurverlassenswarnung« weiß und damit im Vergleich zu den anderen Anzeigen die hellste. Außerdem war sie aufgrund kontinuierlicher Rückmeldung länger aktiv, als die anderen Warnungen und hatte dennoch die geringste Relevanz für das aktuelle Fahrverhalten gehabt. Da auch normale Spurwechsel durch ein Blinken signalisiert wurden, war diese Anzeige auch bei gewöhnlichem korrekten Fahrverhalten sehr auffällig.

Fazit und Ausblick Die hier gefundene intuitive Verständlichkeit der Unscharfen Warnung kann nicht ohne Weiteres auf alle peripheren Anzeigen generalisiert werden, denn bisher ist nicht klar, welche Faktoren für das Verständnis der Anzeigen verantwortlich sind. Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass es grundsätzlich möglich ist, mit einer symbolfreien Anzeige intuitiv verständliche Botschaften zu übermitteln. Dies gilt jedoch zunächst für einzelne Warnungen, welche über die LED-Leiste dargeboten werden. Unklar bleibt, ob die Verständlichkeit abnimmt, wenn mehrere Warnungen abwechselnd oder sogar kombiniert dargeboten werden. Da bereits jetzt viele Anzeigen im Fahrzeug existieren, kann es keine langfristige Lösung sein, für jede neue Funktion eine neue Anzeige einzuführen. Die Fahrer würden früher oder später einfach überlastet werden und eher von den Anzeigen abgelenkt werden als von ihnen zu profitieren. Eine Möglichkeit, dies zu vermeiden, wäre die Kombination von Warnungen in einer Anzeige. Für Anzeigen im Kombidisplay ist dies durchaus üblich, doch funktioniert die Unterscheidung der einzelnen Botschaften auch mit symbolfreien Warnungen? Weitere Forschung ist notwendig um dies herauszufinden. Ein wichtiger Aspekt dieser Fragestellung ist die Fahrerreaktion, welche auch bei der Kombination von Warnungen in einer Anzeige der Warnbotschaft angemessen sein sollte. Dieses Thema wird in Kapitel 9 behandelt.

Ein anderer Aspekt, welcher in dieser Studie nicht aufgegriffen wurde, ist die langfristige Wirkung der Anzeige. Obwohl im kurzen zeitlichen Rahmen der Studie eine Verhaltensänderung herbeigeführt werden konnte, ist unklar, ob dieser Effekt auch auf lange Zeit bei täglicher Nutzung bestehen bleibt oder es zu einem Gewöhnungseffekt kommt. Um dies zu prüfen, sind Langzeitstudien notwendig.

Während die Leistung im Fahrverhalten in dieser Studie untersucht wurde, ist weiterhin unklar, wie die präsentierte Information wahrgenommen wird. Die Fahrleistung hängt nicht nur von der Spurhaltung, Geschwindigkeitswahl und dem Sicherheitsabstand ab, sondern auch von der Fähigkeit schnell auf plötzlich auftretende Gefahren reagieren zu können. Hierfür ist die Ausrichtung der Aufmerksamkeit relevant, denn wenn eine Anzeige den Blick von der Straße ablenkt, können wichtige Ereignisse auf der Straße übersehen werden (Wierwille, 1995). Wie beeinflusst nun die neuartige Unscharfe Warnung die Blickverteilung und wie verhält sich diese im Vergleich zu im Moment eingesetzten Systemen? Erste Erkenntnisse hierzu haben bereits Mahlke et al. (2007) gesammelt. Ihre Ergebnisse beschränken sich jedoch auf den Vergleich der LED-Warnung mit Nachsichtsystemen, die auf analogen Videobildern beruhen. Diese Systeme sind jedoch noch sehr selten in Fahrzeugen zu finden. Sie haben somit einen geringen Marktanteil und nur wenig Einfluss auf die Verkehrssicherheit. Sie zeichnen sich außerdem dadurch aus, dass sie visuell sehr komplex sind. Die weiter verbreiteten Systeme mit einfachen symbolhaften Anzeigen werden den Blick vermutlich weniger stark auf sich ziehen, als ein analoges Videobild. Es ist daher notwendig, das Blickverhalten noch einmal zwischen einer LED-Anzeige und einer klassischen symbolhaften Anzeige zu vergleichen. Dies geschieht in der nächsten Studie.

6 Wird die Unscharfe Warnung peripher wahrgenommen?

Zusammenfassung Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob die Unscharfe Gefahrenwarnung tatsächlich den Blick weniger auf sich zieht, als ein klassisches Display. Dazu wurden ein in Serie eingesetztes Warnsystem, bestehend aus einer schwarz-weißen Kombiwarnung mit Warnton, und eine rote LED-Warnung ohne Warnton in einem innerstädtischen Auffahrszenario miteinander verglichen. Neben den Blickbewegungen wurden auch die Reaktionszeiten der Probanden aufgezeichnet. Die Blickdaten zeigten, dass die LED-Warnung seltener angeschaut wurde, als die Kombiwarnung. Die Ergebnisse stützen die Annahme, dass die LED-Warnung eher peripher als zentral wahrgenommen wird und somit den Blick weniger von der Straße ablenkt.

6.1 Einleitung

In den vorangehenden Studien konnte bereits gezeigt werden, dass Lichtsignale unter der Frontscheibe von Menschen verschiedener Körpergröße gut wahrnehmbar sind und das Aufleuchten eines Signals besser wahrgenommen wird, als dessen ständiges Leuchten (Kapitel 4). Außerdem wurde demonstriert, dass auch eine nicht symbolhafte Unscharfe Warnung intuitiv verständlich ist und das Fahrverhalten beeinflussen kann (Kapitel 5). Beide Befunde bestätigen die Annahme, dass sich die Unscharfe Warnung unter der Frontscheibe grundsätzlich als Warnkonzept eignet. Als nächstes muss untersucht werden, ob die Anzeige einen Vorteil gegenüber bisherigen Anzeigekonzepten bietet. Wie schon in der Einleitung besprochen, sollte die Anzeige auf der LED-Leiste im Gegensatz zu klassischen Anzeigen auch aus der Peripherie wahrnehmbar sein. Wenn dies der Fall ist und die Fahrer von der Möglichkeit Gebrauch machen, sollte die LED-Leiste den Blick weniger von der Straße ablenken, als eine klassische Anzeige.

Der Vergleich sollte in einem Szenario erfolgen, das häufig eintritt und in dem bereits eine symbolhafte Anzeige eingesetzt wird. Die Wahl fiel daher auf eine Kollisionswarnung. In dieser Studie wurde das Blickverhalten in drei kritischen Auffahrsituationen untersucht. Dabei wurden die Fahrer entweder durch eine schwarz-weiße Kombiwarnung mit Warnton oder eine rote LED-Warnung ohne Warnton unterstützt. Dieser Vergleich erscheint zunächst unfair gegenüber der Kombiwarnung, da der Warnton die Aufmerksamkeit der Fahrer vermutlich mehr bindet, als eine rein visuelle Warnung. Der Vergleich ist jedoch insofern angemessen, als dass diese audiovisuelle Warnung das derzeit handelsübliche System darstellt. Dieses System würde heutzutage nicht mehr ohne Warnton verbaut werden. Ein neues System muss sich also an diesem Standard messen und ein Vergleich mit einer Kombiwarnung ohne Warnton würde wenig praktische Relevanz haben.

Multimodale Warnungen haben sich in der Vergangenheit in Bezug auf Reaktionszeiten als vorteilhaft erwiesen (Diederich & Colonius, 2004; Forster, Cavina-Pratesi, Aglioti & Berlucchi, 2002). Die bisherige Forschung zu multimodalen Anzeigen deutet darauf hin, dass in Bezug auf Reaktionszeiten auch die Unscharfe Warnung von einem Warnton profitieren wird. Allerdings ist auch das Warnpotential einer rein visuellen Unscharfen Warnung bereits vergleichbar mit der eines Warntons (Maier et al., 2010). In dieser Studie weist die Anzeige im Gegensatz zur Kombiwarnung eine größere Nähe zum Blickfokus der Fahrer auf und verfügt mit einer Größe

von 126 cm x 0.5 cm gegenüber der verwendeten Kombiwarnung von 5 cm x 7.5 cm über eine deutlich größere Warnfläche. Somit besteht durchaus die Möglichkeit, die gleiche Warnwirkung trotz Verzicht auf den Warnton zu erreichen. Um den Einsatz einer neuartigen Anzeige zu rechtfertigen, ist es wirkungsvoller ihren Vorteil gegenüber einem realen System zu zeigen als gegenüber einem System, welches nicht verbaut wird. Und der Effekt ist umso überzeugender, wenn dabei die gleiche Wirkung mit weniger Mitteln erreicht werden kann. Daher wurde hier entschieden, den praktischen Ansatz zu verfolgen.

Fragestellung Es wurde vermutet, dass die LED-Warnung bei Aktivität seltener angeschaut wird, als die Kombiwarnung. Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass auf die LED-Leiste mindestens genau so schnell reagiert wird, wie auf die Kombiwarnung. Zusätzlich sollte explorativ bestimmt werden, welche der Anzeigen von den Fahrern bevorzugt wird.

6.2 Methode

6.2.1 Versuchsdesign

In dieser Studie wurde der Faktor »Warnung« im Zwischengruppendesign untersucht. Die beiden Stufen »Kombiwarnung mit Ton« und »LED-Warnung ohne Ton« wurden variiert. Als abhängige Variablen wurden die Blickbewegungen, die Reaktionszeit auf drei kritische Ereignisse und die subjektiven Bewertungen der Anzeigen betrachtet. Das Gruppendesign wurde gewählt, um den Einfluss des zu erwartenden Lerneffektes auf die kritischen Ereignisse möglichst gering zu halten.

6.2.2 Stichprobe

Insgesamt nahmen 22 Probanden (46 % weiblich) im Alter von 19-33 Jahren an der Studie teil (Median 22 Jahre). Es handelte sich hier überwiegend um junge Fahranfänger die an der TU-Braunschweig studierten. Alle Probanden verfügten über normale oder auf normales Niveau korrigierte Sicht. Die Teilnehmer erhielten entweder eine Aufwandsentschädigung von 15,- Euro oder 1.5 VP-Stunden, die sie für ihr Studium benötigten.

6.2.3 Material

Fahrsimulator Der Versuch fand im Fahrsimulator der Ingenieur- und Verkehrspsychologie der TU-Braunschweig statt. Der Fahrsimulator bestand aus einer Sitzkiste mit echtem Fahrersitz und einem Force-Feedback-Lenkrad (Abbildung 6.1). Dadurch war eine hohe Ähnlichkeit zum Fahren in einem echten Fahrzeug gegeben. Die Sicht der Rückspiegel und Instrumente wurde auf LCD-Bildschirmen angezeigt. Die Simulationsumgebung wurde über drei Projektoren mit einer Auflösung von je 1400 x 1050 Pixeln auf drei Leinwänden dargeboten. Die Leinwände hatten eine Größe von 220 x 200 cm und standen in einem Winkel von 110° zueinander. Sie deckten insgesamt ein Sichtfeld von 180° ab. Es wurde die Simulationssoftware SILAB 2.1 auf Windows XP verwendet. Mit SILAB lassen sich eine Vielzahl an Umgebungen (inner-/außerstädtische Strecken) und Situationen (Kreuzungen, Kreisel, Zebrastreifen) erzeugen. Dabei ist eine hohe Manipulation der beteiligten Objekte (Fahrzeuge, Fußgänger, Gegenstände) möglich. Die Fahrzeuge verfügen über ein realistisches Physikmodell, das dem Fahrverhalten echter Referenzfahrzeuge nachempfunden ist. Der Simulator besaß außerdem eine voll funktionsfähige Gangschaltung, die jedoch für den Versuch auf Automatik eingestellt wurde.

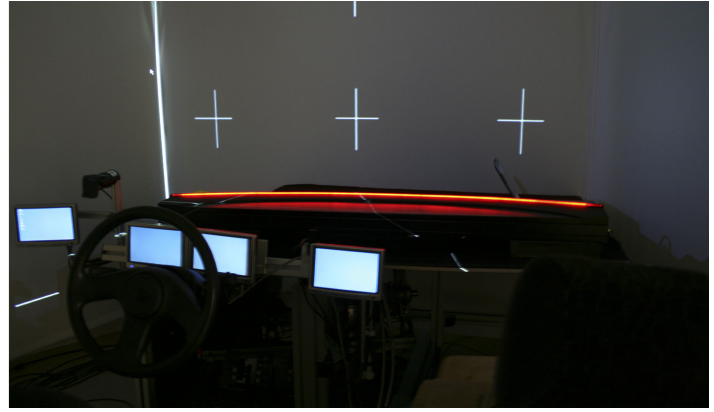


Abbildung 6.1: Der Fahrsimulator der Ingenieur- und Verkehrspsychologie an der TU-Braunschweig (links) mit der verwendeten LED-Leiste (rechts).

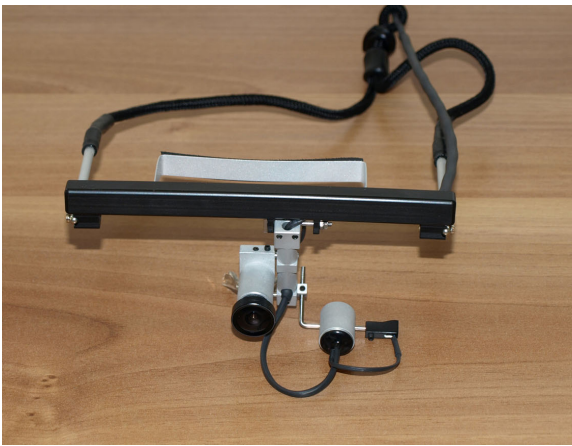


Abbildung 6.2: Links: Dikablis Blickerfassungsbrille. Die Fieldcam erfasst das Blickfeld des Probanden, die Eye-cam die linke Pupille. Rechts: Probandin mit Dikablis Blickerfassungsbrille.

LED-Leiste Die Warnungen wurden über eine 126 cm lange und 0.5 cm hohe LED-Leiste eingeblendet, welche vor dem Fahrer platziert war (Abbildung 6.1). Die Position der Leiste relativ zum Fahrer entsprach der Position der Frontscheibenwurzel in einem PKW. Sie war leicht gekrümmt, um die Beugung der Frontscheibe nachzubilden. Die Leiste bestand aus 120 RGB-LEDs, deren Licht durch eine diffuse Plexiglasscheibe gestreut wurde, so dass ein weicher Übergang zwischen den aktiven und inaktiven LEDs entstand.

Blickerfassung Um während der Fahrt die Blickrichtung messen zu können, wurde das Blickerfassungssystem Dikablis verwendet. Dieses System besteht aus einer leichten Brille (79 g), welche die Augenbewegungen mit 25 Hz monokular anhand des linken Auges durch eine Kamera erfasst. Eine weitere Kamera zeichnet die betrachtete Szene auf (Abbildung 6.2). Dikablis kann auch von Trägern von Kontaktlinsen oder einer Brille verwendet werden. Für eine quantitative Auswertung der betrachteten Bereiche werden Kopfbewegungen nach der Aufzeichnung herausgerechnet. Dies geschieht mit Hilfe von speziellen Markern, die im Sichtfeld der Probanden platziert werden. In diesem Versuch wurden zwei Marker in der oberen linken und rechten Ecke der Frontleinwand eingeblendet.

Versuchsstrecke Die Strecke bestand aus einem einzigen innerstädtischen geraden Streckenabschnitt mit drei Kreuzungen, der insgesamt 27 mal durchfahren wurde (Abbildung 6.3).

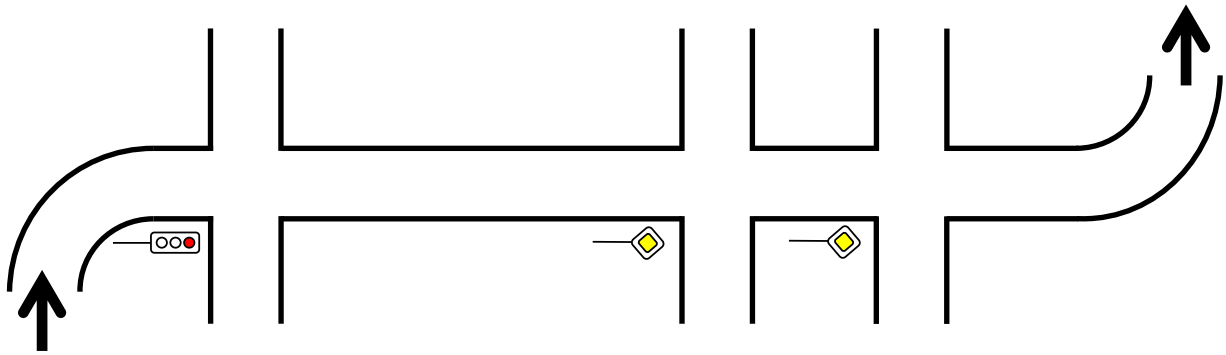


Abbildung 6.3: Versuchsstrecke schematisch. Dieser Abschnitt wurde während des Versuchs immer wieder durchfahren. Nur die Ereignisse wurden variiert.

Dieser Streckenabschnitt begann und endete mit einer Kurve. Direkt hinter der ersten Kurve eines jeden Abschnitts befand sich die erste Kreuzung. Hier mussten die Probanden an einer Ampel halten. Es folgte eine Gerade von 580 m. Am Ende des Abschnitts befanden sich die zweite und dritte Kreuzung im Abstand von 120 m. Diese waren ampelfrei und die Probanden waren an beiden Kreuzungen vorfahrtsberechtigt. Eine geringe Anzahl an Fußgängern lief neben der Straße auf dem Gehweg in einem zufälligen Muster umher und es gab einige Fahrzeuge, welche dem Fahrer entgegenkamen. Auf der eigenen Fahrspur gab es ein Fahrzeug, welches sich zu Beginn des Streckenabschnitts bereits vor dem Probanden befand und an der Ampel wartete. Die Probanden wurden angewiesen, dieses Fahrzeug nicht zu überholen. Das Fahrzeug fuhr den Streckenabschnitt normalerweise mit einer Geschwindigkeit von 45 km/h entlang und bog an der dritten Kreuzung nach links ab. Eine Ausnahme waren drei Durchgänge mit kritischen Ereignissen, in denen das Fahrzeug auch bremste oder auf freier Strecke stehen blieb.

Kritische Ereignisse Das Vorderfahrzeug, das sich auf der eigenen Spur befand, wurde verwendet, um drei kritische Ereignisse auszulösen. Die Ereignisse sollten jeweils einen Auffahrunfall provozieren, sich dabei jedoch leicht unterscheiden um die Vorhersehbarkeit zu verringern. Um die Erwartungshaltung der Probanden abzubauen, lagen zwischen den Ereignissen je acht Durchgänge, in denen nichts Kritisches passierte. Das erste kritische Ereignis geschah im 9. Durchgang. Während die Probanden in den ersten acht Fahrten daran gewöhnt waren, dass das Vorderfahrzeug erst bei der dritten Kreuzung abbog, bremste es hier plötzlich ohne zu blinken und bog bereits an der zweiten Kreuzung ab. Das zweite kritische Ereignis geschah im 18. Durchgang. Nachdem die Probanden wieder mehrmals erlebt haben, dass das Vorderfahrzeug bei der dritten Kreuzung abbog, blieb es in diesem Durchgang plötzlich mitten auf dem geraden Streckenabschnitt zwischen den ersten beiden Kreuzungen stehen und aktivierte die Warnblinker. In Durchgang 19 bis 26 bremste das Vorderfahrzeug jeweils zwei mal leicht auf der geraden Strecke vor der zweiten Kreuzung, hielt jedoch nicht an. Die Probanden gewöhnten sich somit an, auf das leichte Anbremsen zu reagieren. Im 27. Durchgang folgte dann das letzte kritische Ereignis. Auch hier bremste das Vorderfahrzeug zwei mal, blieb beim zweiten mal jedoch ganz stehen und aktivierte die Warnblinker wie im 18. Durchgang (Abbildung 6.4).

Warnungen Zwei Warnsysteme wurden untersucht. Die erste Warnung bestand aus einer schwarz-weißen Kombiwarnung (7.5 x 5.0 cm), die auf dem Display hinter dem Lenkrad, neben dem Tacho, dargeboten wurde. Sie war einem in der Serie befindlichen System nachempfunden und entsprach diesem in Größe und Farbgestaltung (Abbildung 6.5, rechts). Diese Warnung wurde bei Aktivität von einem 2 kHz Ton begleitet, welcher bei jeder Auslösung einmal für

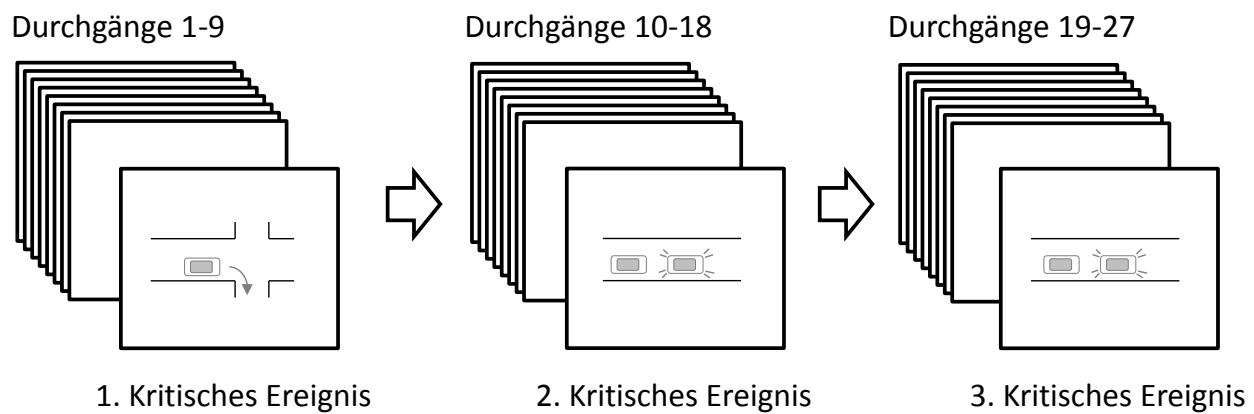


Abbildung 6.4: Versuchsablauf schematisch. In jedem 9. Durchgang erfolgte ein kritisches Ereignis. Durchgang 9: plötzliches Abbiegen ohne Blinken. Durchgänge 18 und 27: plötzliches Anhalten auf Straße. Bei allen drei kritischen Ereignissen verringerte das Frontfahrzeug plötzlich seine Geschwindigkeit. Die Fahrer mussten jeweils schnell bremsen, um eine Kollision zu vermeiden. Bei den Durchgängen 19-26 wurde durch kurzes Anbremsen des Frontfahrzeugs eine neue Erwartungshaltung aufgebaut bevor das kritische Ereignis eintrat.

eine Sekunde eingespielt wurde. Die zweite Warnung bestand aus einem 126 cm breiten und 0.5 cm hohen roten Lichtbalken welcher über eine LED-Leiste eingeblendet wurde. Diese war vor dem Fahrer auf Höhe der Frontscheibenwurzel angebracht. Beide Warnungen wurden aktiviert, wenn der Abstand zum Vorderfahrzeug weniger als $TH = 0.9$ s betrug und blieben aktiv, bis der Mindestabstand wieder hergestellt war. Die Warnung erfolgt somit zwar sehr spät, jedoch realistisch für eine Stadtfahrt. Da Fahrer innerhalb einer Stadt in der Regel dicht auffahren, wäre eine frühere Warnung bei normalem Fahrverhalten sehr häufig aktiv geworden und hätte somit viele Fehlalarme ausgelöst. Dies sollte vermieden werden.



Abbildung 6.5: Die beiden untersuchten Warnsysteme. Die LED-Warnung wurde über die gesamte Breite der LED-Leiste dargeboten (links). Die Kombiwarnung wurde im Display hinter dem Lenkrad eingeblendet (rechts). Zur besseren Lesbarkeit ist sie am Rand noch einmal vergrößert dargestellt.

6.2.4 Ablauf

Zu Beginn des Versuchs stimmten alle Probanden der anonymen Verarbeitung der im Versuch erhobenen Daten zu und der Führerscheinsbesitz wurde kontrolliert. Sie erhielten eine schriftliche Instruktion in denen ihnen die Fahraufgabe erklärt wurde. Danach setzten sie sich in den Fahrsimulator und stellten den Sitz so ein, dass sie wie in einem gewöhnlichen Fahrzeug Pedale und Lenkrad gut erreichen konnten. Die Probanden wurden darüber aufgeklärt, dass sie den Versuch bei Anzeichen von Unwohlsein oder Übelkeit jederzeit abbrechen können.

Trainingsfahrt In Simulatorversuchen kann es mitunter zu starkem Dropout der Probanden aufgrund von Übelkeit und Unwohlsein kommen. Diesen, unter dem Namen »Simulation

Sickness« bekannten, Symptomen kann durch Training vorgebeugt werden (Hoffmann, Krüger & Buld, 2003). Um das Risiko für einen Dropout in dieser Studie zu verringern, wurden die Probanden vor dem Versuch trainiert. Unsere Erfahrung hat gezeigt, dass Simulation Sickness selten auf geraden Landstraßen und häufig beim innerstädtischen Abbiegen auftritt. Daher war die Trainingsstrecke so gestaltet, dass die Fahrer langsam an komplexere Streckenabschnitte gewöhnt wurden. Die Fahrt begann mit einer geraden Landstraße, die nach einigen Kilometern in eine Strecke mit leichten Kurven überging. Die Krümmung der Kurven nahm über die folgenden Kilometer zu. Nach ca. 15 min Fahrt gelangten die Probanden in eine Stadt, in der sie auf einer Vorfahrtsstraße geradeaus fuhren. Etwas später kamen Kreuzungen mit Ampeln hinzu, an denen die Probanden halten mussten. Das Training dauerte etwa 30 min.

Versuchsfahrt Nach dem Training kontrollierten die Probanden noch einmal ihren Sitz und es wurde darauf geachtet, dass sie sowohl die Straße als auch die LED-Leiste gut sehen konnten und diese nicht verdeckt wurden. Die Probanden wurden nun zufällig einer der beiden Versuchsgruppen zugeteilt und erhielten die entsprechende Versuchsanweisung in schriftlicher Form, um Einflüsse durch unterschiedliche Formulierungen auszuschließen. In der Anweisung wurde die Fahraufgabe und das jeweilige Assistenzsystem erklärt. Die Aufgabe bestand darin, möglichst genau 50 km/h zu fahren, allerdings durften sie dabei keine fahrenden Fahrzeuge überholen. Ihnen wurde außerdem mitgeteilt, dass sie von einem Kollisionswarnsystem unterstützt werden würden. Das System wurde vor der Fahrt einmal im Stand demonstriert. Danach wurde das Blickerfassungssystem aufgesetzt und kalibriert. Dann wurden die Probanden im bis auf die Simulation abgedunkelten Raum alleine gelassen, um Störungen durch den Versuchsleiter zu vermeiden. Die Simulatorfahrt dauerte etwa 40 min, der Gesamtversuch ungefähr 90 min.

6.3 Ergebnisse

Es gab keinen Dropout durch Übelkeit während des Versuchs. Alle Effekte werden ab $p < .05$ als signifikant berichtet. Die Varianzhomogenität und Normalverteilung der Daten wurden mit dem Levene Test und dem Kolmogorov-Smirnov Test geprüft. Nur wenn es Hinweise auf eine Verletzung der Annahmen gab, werden diese im Folgenden erwähnt.

6.3.1 Mit welcher Warnung reagierten die Fahrer besser?

Obwohl die Warnung erst bei einem geringen Abstand zum Vorderfahrzeug erfolgte, kam es in 88 % (»Kombiwarnung mit Ton«) bzw. 94 % (»LED-Warnung ohne Ton«) der kritischen Ereignisse zu einer Warnung. Überraschender Weise reagierten die Fahrer oft so schnell auf das haltende Vorderfahrzeug, dass sie die Bremse betätigten, bevor die Warnung überhaupt aktiv wurde: 76 % (»Kombiwarnung mit Ton«) bzw. 45 % (»LED-Warnung ohne Ton«) der Warnungen setzten erst ein, nachdem die Fahrer bereits gebremst hatten. Ein Blick auf den mittleren Abstand zum Vorderfahrzeug während der Fahrt zeigt, dass die Fahrer in der Gruppe »Kombiwarnung mit Ton« im Durchschnitt einen etwas größeren Sicherheitsabstand zum Vorderfahrzeug gehalten haben (1.2 m). Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. Da die Fahrer in der Gruppe »LED-Warnung ohne Ton« somit etwas dichter hinter dem Vorderfahrzeug herfuhrten, hatten diese bei einem kritischen Ereignis etwas weniger Zeit zum Reagieren.

Aufgrund der Reaktion vor Aktivwerden der Warnung konnte der überwiegende Teil der Reaktionszeiten also nicht durch die Warnung beschleunigt worden sein. Es war jedoch möglich, dass die Reaktion der Fahrer während der Ausführung noch durch die Warnung verstärkt wurde. Der Minimalabstand zum potentiellen Kollisionsobjekt ist in diesem Fall ein besserer Indikator für einen Effekt der Warnung. Unabhängig davon, ob bei den kritischen Ereignissen schneller reagiert, stärker oder länger gebremst wurde, zeigen sich positive Effekte der Warnsysteme

im Minimalabstand zum Vorderfahrzeug. Daher wurde zusätzlich zur Reaktionszeit auch der Minimalabstand ausgewertet.

Aus den drei kritischen Ereignissen wurde für jeden Probanden der mittlere Minimalabstand zum Vorderfahrzeug berechnet. Diese Abstände wurden dann mit einem t-Test für unabhängige Stichproben auf Unterschiede zwischen beiden Gruppen getestet. Tendenziell war der Minimalabstand unter der »Kombiwarnung mit Ton« etwas größer. Es gab jedoch keinen signifikanten Unterschied zur »LED-Warnung ohne Ton« $t(20) = 1.56, p = .133, r = .33$ (Abbildung 6.6).

In einigen Fällen erfolgte die Warnung doch vor der Bremsreaktion der Fahrer. Es war somit möglich, dass die Warnung zumindest einen kleinen Einfluss auf die Bremsreaktion gehabt haben könnte. Daher wurden auch die Reaktionszeiten auf das bremsende Vorderfahrzeug gemittelt über alle kritischen Ereignisse betrachtet. Ein t-Test für unabhängige Stichproben zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen $t(20) = .15, p = .886, r = .03$ (Abbildung 6.7). Es konnte somit kein Unterschied in den Reaktionen auf die Warnungen festgestellt werden.

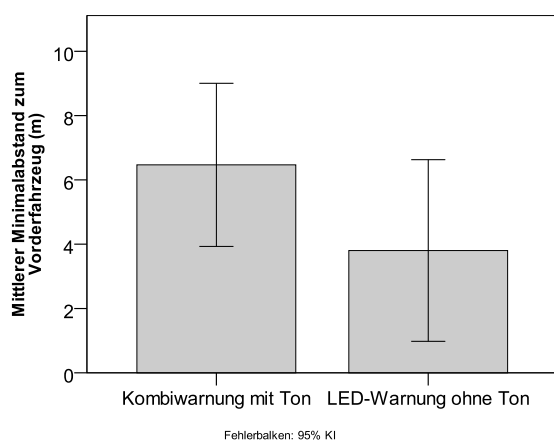


Abbildung 6.6: Minimalabstand zum bremsenden Vorderfahrzeug gemittelt über alle kritischen Ereignisse aufgeteilt nach untersuchter Gruppe. Ein größerer Abstand deutet auf eine bessere Reaktion hin.

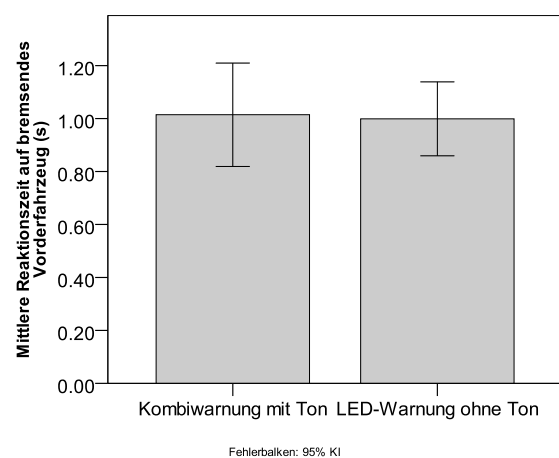


Abbildung 6.7: Reaktionszeiten auf das bremsende Vorderfahrzeug gemittelt über alle kritischen Ereignisse aufgeteilt nach untersuchter Gruppe.

6.3.2 Welche Warnung wurde häufiger angeschaut?

Um zu prüfen, welche der Warnungen die Probanden häufiger anschauten, wurde das Blickverhalten ausgewertet. Für die Auswertung wurden nur die Blicke zu der Warnung verwendet, welche die Probanden auch aktiv erlebt haben. Die Auswertung konzentrierte sich dabei auf die Momente in denen die Warnung aktiv wurde. In einer früheren Untersuchung hatte sich gezeigt, dass die Probanden mitunter erst nach dem Erlöschen eines peripheren Lichtsignals dorthin schauten. Um diese Blickzuwendungen mit zu erfassen, wurde das betrachtete Intervall der Warnaktivität um 2 s nach Erlöschen der Warnung erweitert. Es wurden sowohl kumulierte Blickdauer, als auch die Anzahl der Blicke getrennt betrachtet. Insgesamt wurde nur sehr selten zu den Warnungen geschaut, wenn diese aktiv waren. In beiden Datensätzen wurde die Annahme der Normalverteilung verletzt. Die Auswertung erfolgte daher mit dem parameterfreien Mann-Whitney Test.

Kumulierte Blickdauer Zuerst wurde die kumulierte Blickdauer ausgewertet. Sie gibt eine Gesamtübersicht über das Blickverhalten. Obwohl insgesamt bei Warnaktivität nur sehr wenig

zur Warnung geschaut wurde, schauten die Fahrer hier signifikant länger zur »Kombiwarnung mit Ton« als zur »LED-Warnung ohne Ton« $U = 27.5$, $z = -2.43$, $p = .014$, $r = -.52$ (Abbildung 6.8).

Anzahl Blicke Da die kumulierte Blickdauer keine Auskunft darüber gibt, ob die Probanden sehr häufig oder nur sehr lange auf einen Ort schauten, wurde außerdem die Anzahl Blicke ausgewertet. Die Fahrer schauten auch bei Warnaktivität signifikant seltener zur »LED-Warnung ohne Ton«, als zur »Kombiwarnung mit Ton« $U = 29.00$, $z = -2.35$, $p = .028$, $r = -.50$ (Abbildung 6.9).

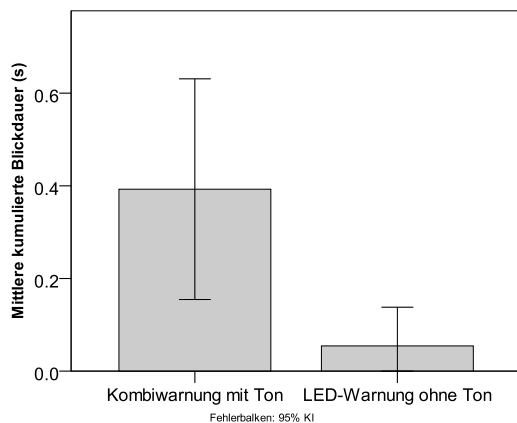


Abbildung 6.8: Kumulierte Blickdauer zur Warnung nur für die Warnaktivität plus zwei Sekunden. Wenn die Warnungen aktiv waren wurde insgesamt länger zur »Kombiwarnung mit Ton« als zur »LED-Warnung ohne Ton« geschaut.

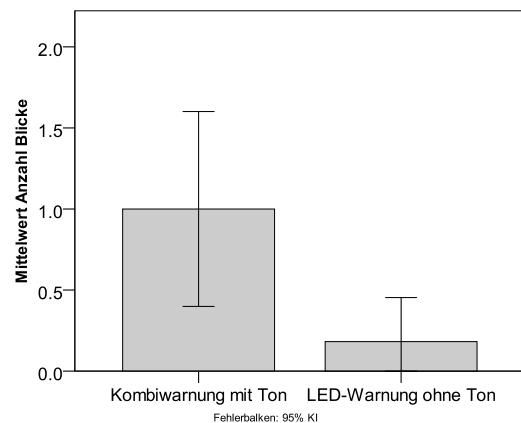


Abbildung 6.9: Anzahl Blicke zur Warnung nur für die Warnaktivität plus zwei Sekunden. Wenn die Warnungen aktiv waren wurde insgesamt häufiger zur »Kombiwarnung mit Ton« als zur »LED-Warnung ohne Ton« geschaut.

Nähe von Kombiwarnung und Tachometer Im Gegensatz zur »LED-Warnung ohne Ton«, wies die »Kombiwarnung mit Ton« eine sehr große Nähe zum Tachometer auf. Es wäre somit bei einer ungenauen Blickerfassung prinzipiell möglich gewesen, dass Blicke zum Tachometer fälschlicherweise als Blickzuwendungen zur »Kombiwarnung mit Ton« gewertet werden. Die Blickerkennung in diesem Versuch war jedoch genau genug, um zwischen beiden Orten zu unterscheiden. Dies zeigt sich in einem Vergleich der Grundblickhäufigkeiten zu beiden Warnsystemen. Betrachtet man die Blickhäufigkeiten zu der Warnung, welche die Probanden nicht erlebten, erhält man die Grundhäufigkeit der Blickzuwendungen, welche nicht auf die Warnaktivität zurückzuführen sind. Diese sollte bei der »Kombiwarnung mit Ton« größer sein, als bei der »LED-Warnung ohne Ton«, wenn die Nähe zum Tachometer eine Rolle spielen sollte. Dies war nicht der Fall (Abbildung 6.10).

6.3.3 Welche Warnung wurde von den Probanden bevorzugt?

Aufgrund des Gruppendesigns haben die Probanden bis zu diesem Zeitpunkt nur das getestete System erlebt. Damit sie einen Vergleich zum nicht erlebten System anstellen können, wurde den Probanden nach der Fahrt jeweils noch einmal das System mit dem sie nicht gefahren sind im Stand demonstriert. Sie wurden dann gebeten anzugeben, welches der beiden Systeme ihnen besser gefallen hat. Hierauf antworteten 77 % der Probanden unabhängig von dem gefahrenen System, dass sie die »LED-Warnung ohne Ton« bevorzugten (Abbildung 6.11).

Weiterhin wurden die Probanden gebeten sich vorzustellen, wie akzeptabel sie Fehlalarme der jeweiligen Warnung finden würden, wenn das System sie früher warnen könnte. Hier bewerteten

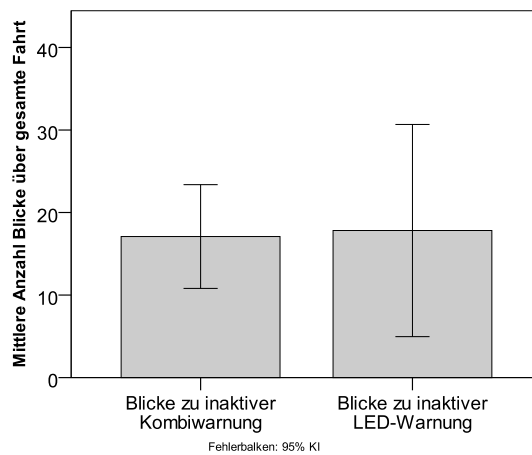


Abbildung 6.10: Anzahl Blicke zu dem jeweiligen Warnsystem, welches in der getesteten Bedingung inaktiv war, während der gesamten Fahrt. Hätte die Nähe der »Kombiwarnung mit Ton« zum Tachometer einen Einfluss auf die Blickzuwendungen gehabt, wären zu diesem System trotz inaktiver Warnung mehr Blicke als zur »LED-Warnung ohne Ton« erfolgt.

die Probanden nur das System mit dem sie jeweils gefahren sind. In der Gruppe »LED-Warnung ohne Ton« gaben im Vergleich zur »Kombiwarnung ohne Ton« mehr als doppelt so viele Fahrer an Fehlalarme akzeptieren zu können (Abbildung 6.12).

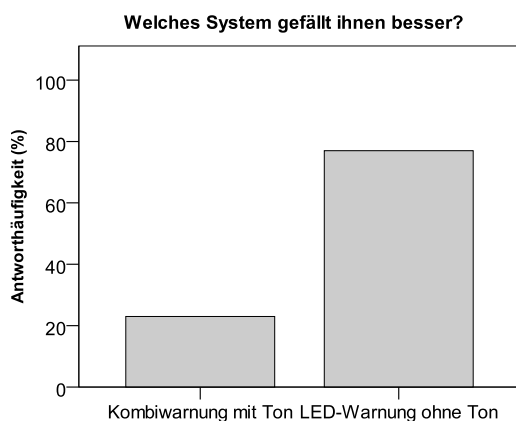


Abbildung 6.11: Antworthäufigkeiten für die Beurteilung welches System jeweils bevorzugt wird. Alle Probanden beurteilten beide Systeme. Die LED-Warnung ohne Ton wurde bevorzugt.

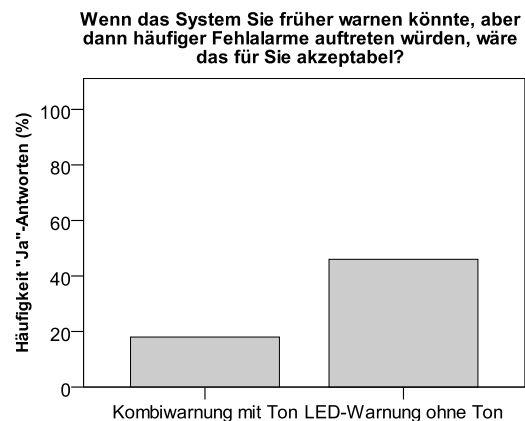


Abbildung 6.12: Antworthäufigkeiten über die Akzeptanz von Fehlalarmen. In der Gruppe »LED-Warnung ohne Ton« beurteilten mehr Fahrer potentielle Fehlalarme als akzeptabel (46%) als in der Gruppe »Kombiwarnung mit Ton« (18%). Alle Probanden beurteilten nur das System mit dem sie gefahren sind.

6.4 Diskussion

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob eine Unscharfe Gefahrenwarnung in Form einer Anzeige per LED-Leiste weniger angeschaut wird als eine zur Zeit verfügbare symbolhafte klassische Anzeige im Kombidisplay. Dies war der Fall: Die »LED-Warnung ohne Ton« wurde seltener angeschaut, als die »Kombiwarnung mit Ton«. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die

LED-Leiste eher aus der Peripherie wahrgenommen wird. Das Ergebnis ergänzt somit die Befunde von Mahlke et al. (2007), die auch eine geringere Blickzuwendung für Nachtsichtsysteme im Szenario einer Fußgängerwarnung auf Landstraßen zeigen konnten. In der hier vorgestellten Studie konnte das Ergebnis im Szenario einer Auffahrwarnung im Stadtbereich repliziert werden. Die Annahme einer peripheren Wahrnehmung der Unscharfen Warnung wird hierdurch bestärkt. Die LED-Leiste in der hier untersuchten Form hat somit ein hohes Potential einen Fahrer zu warnen und dabei seinen Blick weniger von der Straße abzulenken, als eine klassische Warnung.

Für diese Studie gilt die Aussage jedoch zunächst nur für die Blickzuwendung. Aufgrund der schnellen Reaktionszeiten der Probanden kann hier nicht abschließend geklärt werden, wie gut die Warnwirkung der LED-Leiste im Vergleich zur klassischen Warnung gewesen ist. Prinzipiell könnte es auch möglich sein, dass die LED-Leiste zwar weniger angeschaut wurde, aber auch eine schwächere Wirkung auf die Reaktionszeit hatte.

Konfundierung von Anzeigeform und Ton Bei der Interpretation des ursächlichen Faktors für die Unterschiede in der Blickverteilung ist Vorsicht geboten. Aufgrund der Konfundierung von visuellen und akustischen Merkmalen der Warnsysteme in dieser Studie kann nicht sicher gesagt werden, ob die LED-Warnung weniger angeschaut wurde, weil sie unscharf gestaltet war oder nur weil sie ohne Warnton dargeboten wurde. Die Aussage über den Unterschied bezieht sich daher nur auf die Systeme, so wie sie getestet worden sind. Dies war, wie in der Einleitung erklärt in dieser Studie beabsichtigt. Die untersuchte Konstellation kam zustande, da eine unimodale Form der Unscharfen Warnung mit einer möglichst realistischen Warnung verglichen werden sollte. Hier wurde zugunsten der Maximierung von der externen Validität gegen die separate Betrachtung des Einflusses verschiedener Modalitäten entschieden. Weitere Untersuchungen wären notwendig, um zu bestimmen ob sich der Effekt auch im Vergleich zu einer rein visuellen Auffahrwarnung im Kombidisplay oder einer Kombination von Unscharfer Warnung mit Warnton zeigen lässt. Allerdings wäre der daraus resultierende Erkenntnisgewinn von geringer praktischer Relevanz. Heutzutage würde eine unimodale Warnung im Kombidisplay aufgrund der schwächeren Warnwirkung nicht mehr verbaut werden (Diederich & Colonius, 2004; Forster et al., 2002) und mit einer unimodalen Unscharfen Warnung können bereits vergleichbare Reaktionszeiten, wie zu einer akustischen Warnung erreicht werden (Maier et al., 2010).

LED-Warnung ohne Ton wird bevorzugt In der subjektiven Bewertung wurde die »LED-Warnung ohne Ton« von den Fahrern bevorzugt und sie gaben an, Fehlalarme eher verzeihen zu können. Dies spricht für einen Vorteil der Unscharfen Warnung. Auch hier kann jedoch nicht endgültig gesagt werden, ob dieser Vorteil auf die visuelle Gestaltung, den Warnton oder einer Kombination von beidem zurückzuführen ist.

Reaktionen vor der Warnung Beim Vergleich der frühen Reaktionen der Fahrer fiel auf, dass es hier Unterschiede zwischen beiden Gruppen gab. Die Fahrer aus der Bedingung »Kombiwarnung mit Ton« reagierten häufiger vor einem Einsetzen der Warnung. Dies könnte daran liegen, dass die Fahrer diese Warnung aufgrund des Tons so unangenehm fanden, dass sie hier stärker versuchten ein Auslösen des Systems zu verhindern. Die Beurteilung der Systeme und der etwas größere Sicherheitsabstand bei der Gruppe »Kombiwarnung mit Ton« unterstützen diese Annahme. Dies spricht zunächst für einen Vorteil der »Kombiwarnung mit Ton«, denn um Unfälle zu vermeiden, ist es sinnvoll wenn Fahrer einen größeren Sicherheitsabstand halten. Es ist allerdings zu hinterfragen, ob sich dieser Vorteil auch in der Realität zeigen würde. Im Rahmen des Versuchs hatten die Fahrer keine Möglichkeit die Warnung abzuschalten, doch im Straßenverkehr können Fahrer durchaus entscheiden, ob sie ein Assistenzsystem nutzen oder

nicht. Aufgrund der hohen Verkehrsdichte kann eine Auffahrwarnung im Stadtverkehr häufig auslösen. Daher ist davon auszugehen, dass eine zu aversiv gestaltete Auffahrwarnung bald von den Fahrern abgeschaltet werden würde.

Fazit und Ausblick Insgesamt deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass die LED-Leiste peripher wahrgenommen wird und die Fahrer weniger stört als eine klassische Kombiwarnung mit akustischem Signal. Offen geblieben ist die Frage, ob die LED-Leiste zu einer ähnlichen Wirkung auf die Reaktionszeit führen kann, wie eine klassische Warnung. Besonders spannend dabei ist die Frage, ob bereits mit einer unimodalen Unscharfen Warnung mindestens gleich gute Reaktionszeiten, wie anhand einer bimodalen Kombiwarnung erreicht werden können. Die in dieser Studie bevorzugte »LED-Warnung ohne Ton« würde sich in dieser Hinsicht als vorteilhafter erweisen, wenn sie auch ohne Warnton zu einer vergleichbaren Beschleunigung der Reaktionszeit führt. Um diesen Zusammenhang zu klären, wurde eine Folgestudie durchgeführt, welche gezielt die Reaktionszeiten auf verschiedene unscharfe und ein klassisches symbolhaftes Warnssystem untersucht (Kapitel 7).

7 Wird auf eine Unscharfe Warnung schneller reagiert, als auf eine symbolhafte Warnung im Kombidisplay?

Zusammenfassung Um herauszufinden, ob unscharfe Warnungen einen Vorteil gegenüber symbolhaften Warnungen bieten, wurden die Reaktionszeiten einer symbolhaften Kombiwarnung und sechs verschiedenen unscharfen Warnungen miteinander verglichen. Dabei wurden die Probanden entweder durch eine Nebenaufgabe abgelenkt oder nicht. Die Fahrer reagierten auf alle unscharfen Warnungen mit Warnton schneller als auf die schwarz-weiße Kombiwarnung mit Warnton (bimodal vs. bimodal). Die Reaktionen auf unscharfe Warnungen ohne Warnton waren in etwa gleich schnell wie auf die schwarz-weiße Kombiwarnung mit Warnton (unimodal vs. bimodal). Außerdem reagierten die Fahrer langsamer, wenn sie gleichzeitig die Nebenaufgabe ausführten. Die unscharfen Warnungen warnten somit unter ungünstigeren Bedingungen (unimodal) gleich gut und bei vergleichbaren Bedingungen (bimodal) sogar besser, als eine klassische symbolhafte Warnung.

7.1 Einleitung

Die Unscharfe Gefahrenwarnung in Form einer LED-Leiste ist ein neuartiges Assistenzsystem, welches sich gegenüber klassischen Systemen bewähren muss, wenn es im Straßenverkehr eingesetzt werden soll. Das Design verspricht eine geringere Ablenkung der Fahrer und eine schnellere Reaktion auf kritische Ereignisse. In der vorangehenden Studie konnte bereits gezeigt werden, dass die LED-Leiste bei Warnaktivität seltener angeschaut wird als eine Warnung im Kombidisplay. Dies spricht für eine geringere Ablenkung in kritischen Situationen. Auch die Reaktionszeiten wurden untersucht. Doch da die Fahrer der Studie häufig bereits vor Einsetzen der Warnung bremsen, waren die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig. Diese Studie soll nun die Erkenntnisse aus Kapitel 6 ergänzen und eine bessere Reaktionszeitmessung erreichen. Im Vordergrund stand die Frage, auf welches System am schnellsten reagiert werden kann. Um den Störeinfluss des Warnzeitpunktes relativ zum kritischen Ereignis auszuschließen, wurde in dieser Studie die reine Reaktionszeit auf die Darbietung der Warnung ohne kritisches Ereignis untersucht. Unterschiede in den Reaktionszeiten können dadurch allein auf die Anzeigen zurückgeführt werden. Die Daten wurden im Messwiederholungsdesign erhoben, um eine genauere Reaktionszeitmessung zu ermöglichen und bei gleicher Stichprobengröße eine höhere Power zu erlangen.

Warnungen treten im Idealfall nur in gefährlichen Ausnahmesituationen auf. Im Fahrzeug kann dies geschehen, wenn der Fahrer die Fahraufgabe nicht korrekt ausführt. Eine solche Beeinträchtigung kann zum Beispiel durch Ablenkung hervorgerufen werden. Eine Warnung sollte in diesem Fall eine schnelle Reaktion beim Fahrer auslösen. Um dieses Szenario zu berücksichtigen wurde eine Nebenaufgabe als Faktor eingeführt, welche die Fahrer während der Fahrt bearbeiten mussten.

Insgesamt wurden vier visuell verschiedene Warnsysteme untersucht, um verschiedene Gestaltungsaspekte miteinander zu vergleichen. Das erste System bestand aus der bereits im letzten Kapitel eingesetzten schwarz-weißen Kombiwarnung und stellte den aktuellen Stand heutiger Assistenzsysteme dar. Es handelt sich hierbei um eine klassische symbolhafte Warnung, welche hinter dem Lenkrad im Kombidisplay dargeboten wird.

Dieses System wurde nun mit drei unscharfen Warnungen verglichen: zwei unterschiedlich breiten LED-Warnungen und einer unscharfen Warnung im Kombidisplay. Die Länge der LED-Warnung wurde in zwei Stufen variiert, um eine Aussage darüber treffen zu können, ob die Größe der LED-Warnung einen Einfluss auf die Reaktionszeit hat. Weiterhin wurde eine Unscharfe Kombiwarnung implementiert, welche von der Größe und Positionierung mit der schwarz-weißen Kollisionswarnung übereinstimmte, aber anstelle des farblosen Symbols aus einer komplett roten Anzeige bestand (Abbildung 7.2). Diese Stufe wurde mit aufgenommen, um zu prüfen, ob auf eine unscharfe Kombiwarnung schneller reagiert werden kann, als auf eine klassische symbolhafte Kombiwarnung. Wenn ein Reaktionszeitvorteil gegenüber einer herkömmlichen Anzeige erreicht werden könnte, wäre die Implementierung einer neuen Anzeige nicht unbedingt notwendig. Eine Umgestaltung der Anzeige auf dem bereits vorhandenen Display wäre dann eine kostengünstigere Alternative für Fahrzeughersteller und Kunden.

Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass multimodale Warnungen zu schnelleren Reaktionszeiten führen (Diederich & Colonius, 2004; Forster et al., 2002). Um zu prüfen, ob dieser Effekt auch bei der Unscharfen Warnung auftritt, wurde die Darbietung eines Warntons mit allen Systemen bis auf die schwarz-weiße Kombiwarnung variiert. Bei dieser Warnung wurde wieder auf die Untersuchung des Systems ohne Warnton verzichtet, da es heute nicht mehr verbaut werden würde. Somit wurde der Warnton nicht als eigener Faktor variiert und die Daten zweifaktoriell ausgewertet.

Fragestellung In dieser Studie wurde untersucht, ob auf verschiedene uni- und bimodale unscharfe Warnungen schneller reagiert werden kann, als auf eine klassische bimodale symbolhafte Warnung. Zusätzlich wurde der Effekt der Ablenkung durch eine Nebenaufgabe untersucht.

7.2 Methode

7.2.1 Versuchsdesign

In dieser Studie wurden in einem 7x2 Messwiederholungsdesign die Faktoren »Warnung« und »Nebenaufgabe« untersucht (Tabelle 7.1). Als abhängige Variable wurde die Bremsreaktionszeit auf das Aufleuchten der Warnungen erfasst.

		Nebenaufgabe	
		mit	ohne
Warnung	Kombi schwarz-weiß (mit Ton)	1	2
	Kombi rot (ohne Ton)	3	4
	Kombi rot (mit Ton)	5	6
	LED groß (ohne Ton)	7	8
	LED groß (mit Ton)	9	10
	LED klein (ohne Ton)	11	12
	LED klein (mit Ton)	13	14

Tabelle 7.1: Versuchsplan schematisch. Sieben Warnsysteme wurden sowohl alleine, als auch in Kombination mit einer Nebenaufgabe untersucht. Alle 14 Probanden wurden in allen 14 Bedingungen getestet.

7.2.2 Stichprobe

An diesem Versuch nahmen 14 Probanden (64 % weiblich) im Alter von 19-56 Jahren teil (Median: 22.5 Jahre). Die Probanden hatten überwiegend Erfahrung im Umgang mit Fahrsimulatoren. Alle Fahrer waren im Besitz eines gültigen PKW-Führerscheins, den sie seit etwa fünf Jahren (Median) besaßen. Es handelte sich überwiegend um Fahranfänger die bisher insgesamt etwa 27 500 km (Median) gefahren sind. Die Probanden verfügten über normale oder auf normales Niveau korrigierte Sicht. Sie wurden für ihre Teilnahme wahlweise mit einer Versuchspersonenstunde oder einer Aufwandsentschädigung von 10,- Euro vergütet.

7.2.3 Material

Fahrsimulator Für diesen Versuch wurde derselbe Fahrsimulator wie aus der Studie in Kapitel 6.2.3 verwendet. Die Gangschaltung wurde auf Automatik eingestellt und musste daher nicht während der Fahrt bedient werden.

Versuchsstrecke In dieser Studie interessierte nur die Reaktion auf die Warnungen und nicht auf die Fahrumgebung. Daher war die Versuchsstrecke sehr einfach gestaltet. Sie bestand aus einer wenig befahrenen Landstraße mit sehr wenig Gegenverkehr (ein Fahrzeug etwa alle 15 s) und keinem Verkehr auf der eigenen Fahrspur. Es gab keine Kreuzungen oder Ortschaften. Die Strecke versetzte die Probanden somit in eine Fahrsituation, ohne sie zu sehr zu beanspruchen. Die Fahrtgeschwindigkeit wurde konstant gehalten, indem die Probanden angewiesen wurden, mit durchgetretenem Gaspedal zu fahren und die Maximalgeschwindigkeit auf 80 km/h begrenzt wurde.

Nebenaufgabe Die Nebenaufgabe bestand aus der Surrogate Reference Task (SURT). Dies ist eine visuelle Suchaufgabe, die auf einem Computerbildschirm dargeboten wird und zuverlässig visuelle und kognitive Ablenkung hervorrufen kann (Wynn & Richardson, 2008). Die Probanden hatten die Aufgabe, einen Zielreiz unter mehreren Distraktorreizen zu finden und auf einem Touchscreen seine Position durch Antippen anzugeben (Abbildung 7.1). Der Touchscreen hatte eine Größe von 20.8 x 16.0 cm. Er war neben dem Fahrer so auf dem Beifahrersitz montiert, dass er bequem während der Fahrt bedient werden konnte.

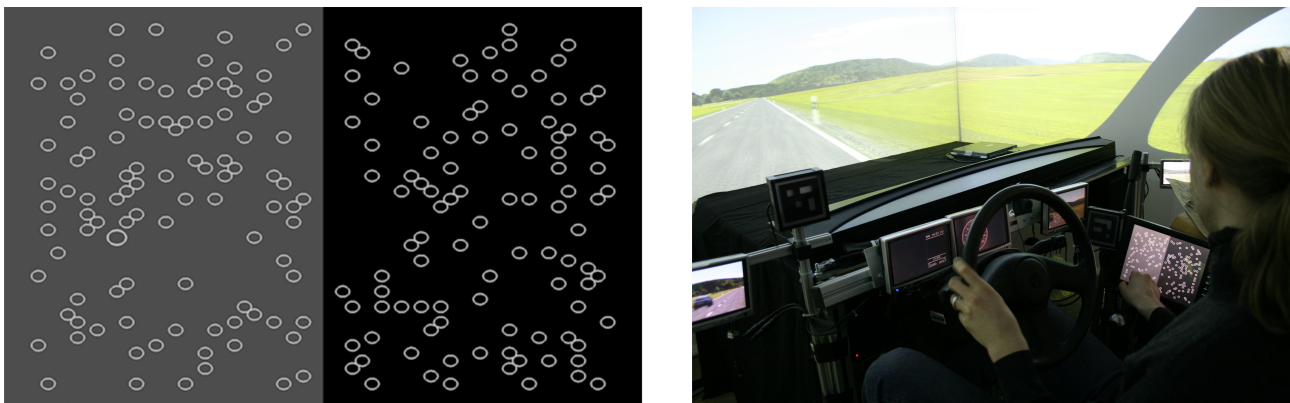


Abbildung 7.1: Beispiel für eine Suchaufgabe der verwendeten SURT (links). Der Zielreiz, ein etwas größerer Kreis, befindet sich im linken Feld etwas unter der vertikalen Mitte. Proband bedient SURT im Simulator (rechts).

In der SURT kann die Schwierigkeit der Aufgabe durch den Größenunterschied zwischen Zielreiz und Distraktorreizen variiert werden. Für den Versuch wurde eine Distraktorgröße von

4 mm und eine Zielreizgröße von 9 mm verwendet. Damit war die Aufgabe schwer genug, um die Fahrer jeweils für einige Sekunden von der Straße abzulenken. Die Position der Reize wurde für jeden Durchgang zufällig bestimmt. Die Anzahl der Distraktorreize war konstant und wurde für den Versuch auf 200 festgelegt. Die SURT erfordert für das Erfassen der Antwort lediglich das Antippen der Bildschirmhälfte mit dem Zielreiz. Um die Ablenkungswirkung zu erhöhen, wurde die Aufgabe noch etwas anspruchsvoller gestaltet. Die Probanden wurden angewiesen, den Zielreiz direkt anzutippen.

Weiterhin bietet die SURT die Möglichkeit die Richtigkeit der Antworten per visuellem Feedback (grün = richtig, rot = falsch) zurückzumelden. Diese Option wurde in dieser Studie deaktiviert, um eine Interferenz mit den roten Warnungen zu vermeiden.

Warnungen In diesem Versuch wurden sieben Warnsysteme untersucht. Diese bestanden aus vier visuell unterschiedlichen Warntypen (Abbildung 7.2) von denen vier mit und drei ohne Warnton untersucht wurden. Alle Systeme wurden alleine ohne ein kritisches Ereignis dargeboten. Die Warnungen der Bedingungen »LED groß« und »LED klein« wurden auf der in Kapitel 6.2.3 beschriebenen LED-Leiste dargeboten. Die große LED-Warnung hatte eine Länge von 126 cm, die kleine von 45 cm. Die kleine Warnung wurde zentriert vor dem Fahrer dargeboten, die große auf der gesamten Leistenbreite. Die Warnungen im Kombidisplay entsprachen in ihren Maßen und Design einem in Realfahrzeugen eingesetzten Referenzsystem und hatten eine Abmessung von 5,0 x 7,5 cm. Die Warnungen und ggf. der Warnton wurden bei Darbietung eine Sekunde lang präsentiert.



Abbildung 7.2: Die in dieser Studie verwendeten Warnungen. Die kleine LED-Warnung wurde zentriert vor dem Fahrer dargeboten. Die Kombiwarnungen wurden auf dem Kombidisplay hinter dem Lenkrad dargestellt. Sie sind noch einmal rechts vergrößert abgebildet. Ihre Maße entsprachen einer tatsächlich in Fahrzeugen eingesetzten Warnung.

7.2.4 Ablauf

Zu Beginn des Versuchs stimmten alle Probanden der anonymen Verarbeitung der im Versuch erhobenen Daten zu und die Versuchsanweisung wurde schriftlich gegeben, um Einflüsse durch unterschiedliche Formulierungen auszuschließen. Ihre Aufgabe bestand darin, die Versuchsstrecke mit durchgetretenem Gaspedal entlang zu fahren, bei einer Warnung so schnell wie möglich eine Vollbremsung durchzuführen und danach weiter zu fahren. Das Blickerfassungssystem wurde den Probanden aufgesetzt und kalibriert. Vor Versuchsbeginn fuhren die Probanden ein kurzes Training auf der Versuchsstrecke ohne Warnungen aber mit Nebenaufgabe, um sich an die Aufgabe zu gewöhnen. Während des Trainings wurden richtige und falsche Antworten in der Nebenaufgabe noch an den Probanden visuell zurückgemeldet. Die Probanden wurden darüber aufgeklärt, dass sie den Versuch bei Anzeichen von Unwohlsein oder Übelkeit

jederzeit abbrechen können. Der Versuch wurde gestartet, wenn die Probanden angaben, mit der Aufgabe vertraut zu sein.

Alle Warnsysteme wurden vor der Fahrt im Stand präsentiert. Für die Versuchsfahrt wurden die Probanden im abgedunkelten Raum allein gelassen, um externe Störeinflüsse zu minimieren. Insgesamt gab es zwei Versuchsfahrten von je etwa 12 min Dauer. In einer Bedingung wurde mit, in der anderen »ohne Nebenaufgabe« gefahren. Die Reihenfolge wurde über die Probanden ausbalanciert. Die Fahrer wurden angewiesen der Fahr- und Nebenaufgabe die gleiche Aufmerksamkeit zu schenken. Dies geschah mit dem Hintergrund, die Ablenkung durch die Nebenaufgabe sicher zu stellen. Die verschiedenen Warnungen wurden in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Die Blickrichtung der Probanden wurde während der Fahrt beobachtet. In der Bedingung »mit Nebenaufgabe«, wurde eine Warnung nur dann angezeigt, wenn der Proband gerade zur Nebenaufgabe schaute. In der Bedingung »ohne Nebenaufgabe« wurden die Warnungen nur eingeblendet, wenn die Fahrer gerade auf die Straße schauten. Messzeitpunkte in denen dies nicht gelang, wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die Warnungen auch wirklich bei bzw. ohne visuelle Ablenkung dargeboten wurden. Außerdem betrug der zeitliche Mindestabstand zwischen den Warnungen mindestens 20 s. Um die Messgenauigkeit zu erhöhen, wurde jedes Ereignis je Proband insgesamt vier mal getestet und für die Auswertung der Mittelwert gebildet.

Nach der Versuchsfahrt wurden die Systeme von den Probanden auf einem Fragebogen beurteilt. Dazu wurde ihnen das zu beurteilende System jeweils noch einmal kurz im Stand präsentiert. Der Versuch dauerte etwa eine Stunde.

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Datenaufbereitung

Als Reaktionszeit wurde die Latenz zwischen dem Onset der Warnung und der Betätigung der Bremse gemessen. Die Nebenaufgabe führte zu einer so guten Ablenkung der Probanden, dass beinahe alle Messungen verwendet werden konnten. Es gab keinen Dropout durch Übelkeit während des Versuchs. Alle Effekte werden ab $p < .05$ als statistisch signifikant berichtet. Da bei Messwiederholungsdesigns die Varianz zwischen den Probanden ignoriert werden kann (Loftus & Masson, 1994), werden in allen Grafiken Fehlerbalken für Messwiederholungsdesigns korrigiert dargestellt. Bei allen Auswertungen, bei denen es angemessen war, wurde die Voraussetzung der Normalverteilung der Daten mit dem Kolmogorov-Smirnov Test geprüft. Im Folgenden wird nur noch berichtet, ob es Hinweise auf Verletzung der Annahme gab. In den Fällen, in denen eine Varianzanalyse gerechnet wurde und die Varianzhomogenität verletzt war, werden die Effekte nach Greenhouse-Geisser korrigiert berichtet (Greenhouse & Geisser, 1959). Zur einfacheren Lesbarkeit werden in diesen Fällen nur die p-Werte korrigiert angegeben und die Freiheitsgrade und F-Werte unkorrigiert berichtet. Weiterhin wurden die für Varianzanalysen berechneten Post-Hoc Kontraste Bonferroni korrigiert, um einer Alpha-Fehler Kumulierung entgegenzuwirken.

7.3.2 Auf welche der Warnungen wurde am schnellsten reagiert?

Es gab keine Hinweise auf eine Verletzung der Normalverteilungsannahme in den Reaktionszeiten. Daher wurden diese anhand einer Varianzanalyse für Messwiederholungen mit den Faktoren »Warnung« und »Nebenaufgabe« miteinander verglichen. Zur übersichtlicheren Darstellung werden die Teststatistiken der Varianzanalyse in Tabellenform gesammelt in Tabelle 7.2 berichtet. Signifikante Mauchly Tests für den Faktor »Warnung« $\chi(20) = 42.46$, $p = .003$, $\varepsilon = .45$ und die Interaktion »Warnung« und »Nebenaufgabe« $\chi(20) = 34.72$, $p = .026$, $\varepsilon = .49$

deuteten darauf hin, dass nicht von einer Varianzhomogenität zwischen den Faktorstufen ausgegangen werden konnte. Es gab keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen »Warnung« und »Nebenaufgabe«, es zeigte sich jedoch ein signifikanter Haupteffekt für die »Warnung« (Abbildung 7.3). Kontraste zeigten, dass auf die Warnungen »Kombi rot (mit Ton)«, »LED klein (mit Ton)« und »LED groß (mit Ton)« signifikant schneller reagiert wurde, als auf die schwarz-weiße Kombiwarnung mit Ton. Es gab außerdem einen signifikanten Haupteffekt für die »Nebenaufgabe«, (Abbildung 7.4). Die Fahrer reagierten schneller auf die Warnung, wenn sie »ohne Nebenaufgabe« fuhren.

Effekt	Testergebnis
Interaktionseffekt »Warnung« und »Nebenaufgabe«	n.s.
Haupteffekt »Warnung«	$F(6,78) = 4.11, p = .016$
Kontrast »Kombi rot (mit Ton)« zu »Kombi schwarz-weiß (mit Ton)«	$F(1,13) = 6.01, p = .029, r = .56$
Kontrast »LED klein (mit Ton)« zu »Kombi schwarz-weiß (mit Ton)«	$F(1,13) = 7.89, p = .015, r = .61$
Kontrast »LED groß (mit Ton)« zu »Kombi schwarz-weiß (mit Ton)«	$F(1,13) = 18.69, p = .001, r = .77$
Haupteffekt »Nebenaufgabe«	$F(1,13) = 55.74, p < .001, r = .90$

Tabelle 7.2: Übersicht der Testergebnisse der Varianzanalyse für Vergleiche zwischen den Reaktionszeiten der Faktoren »Warnung« und »Nebenaufgabe«.

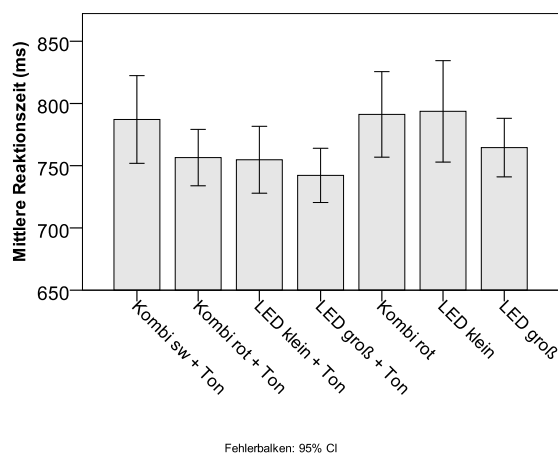


Abbildung 7.3: Reaktionszeiten auf alle getesteten Warnungen. Die Fahrer reagierten unterschiedlich schnell auf die verschiedenen Systeme.

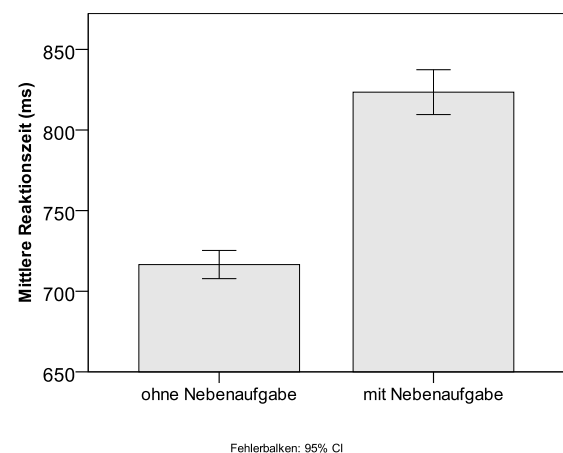


Abbildung 7.4: Reaktionszeiten auf alle getesteten Warnungen aufgeteilt nach Nebenaufgabe. Ohne Nebenaufgabe reagierten die Fahrer schneller auf die Warnungen.

7.3.3 Gab es einen Hinweis auf einen Effekt des Warntons?

Der Warnton wurde in dieser Studie nicht systematisch variiert. Da jedoch alle Warnungen bis auf das System »Kombi schwarz-weiß« mit und ohne Warnton getestet wurden, kann zumindest deskriptiv die Lage der Daten betrachtet werden, um eine Hypothese über einen Effekt aufzustellen. Tendenziell reagierten die Fahrer auf alle Warnungen mit Warnton etwas schneller, als auf dieselben Warnungen ohne Ton (Abbildung 7.5). Dies deutet auf einen Haupteffekt des Tons hin, der in einer zukünftigen Studie noch einmal gezielt geprüft werden könnte.

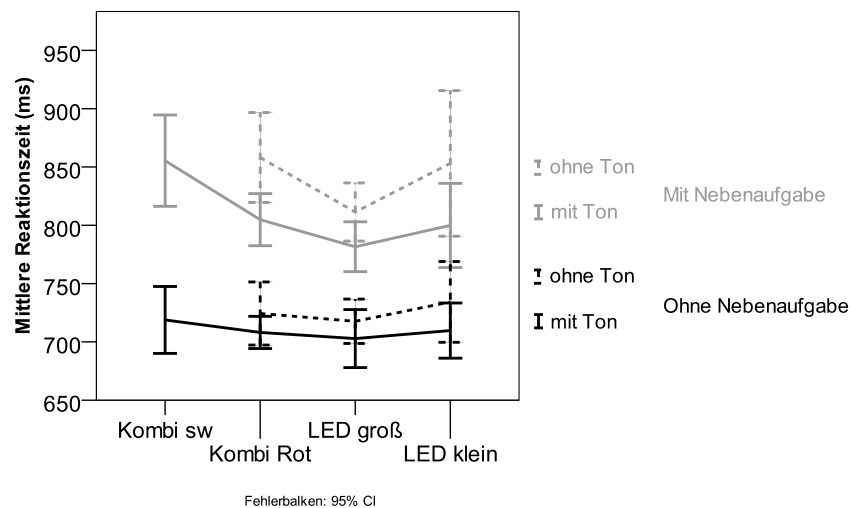


Abbildung 7.5: Reaktionszeiten auf alle getesteten Warnungen. Der Ton wurde nicht systematisch in allen Bedingungen variiert, scheint jedoch die Reaktionszeiten beschleunigt zu haben. Auch der Effekt von der Nebenaufgabe auf die Reaktionszeit ist deutlich zu erkennen.

7.3.4 Wie wurden die Systeme bewertet?

Neben der Reaktionszeit auf die Warnungen wurden die Probanden nach dem Versuch auch zu jedem System befragt, wie hoch ihre Akzeptanz von Fehlalarmen sei und wie sehr ihnen das System insgesamt gefallen hat. Auch hier werden zur übersichtlicheren Darstellung die Teststatistiken der Varianzanalyse in Tabellenform gesammelt in den Tabellen 7.3 und 7.4 berichtet. Eine Betrachtung der Verteilung der Systembewertungen und Akzeptanz von Fehlalarmen deutete darauf hin, dass die Daten annähernd normalverteilt waren. Diese Annahme wurde bis auf eine Ausnahme durch nicht signifikante Kolmogorov-Smirnov Tests für die Verteilungen der einzelnen Warnungsbedingungen nicht in Zweifel gezogen. Die Varianzanalyse ist bei gleicher Gruppengröße robust gegen Verletzungen der Normalverteilungsannahme. Daher wurden die Urteile mit einer Varianzanalyse für Messwiederholungen mit dem Faktor »Warnung« ausgewertet.

Welches System war am beliebtesten? Ein signifikanter Mauchly Test für den Faktor »Warnung« deutete darauf hin, dass nicht von einer Varianzhomogenität ausgegangen werden konnte $\chi(20) = 39.22, p = .008, \epsilon = .46$. Es gab einen signifikanten Haupteffekt für die »Warnung«. Kontraste zeigten auf, dass die Anzeigen »Kombi rot (mit Ton)«, und »LED groß (mit Ton)« signifikant positiver und »Kombi rot (ohne Ton)« signifikant negativer beurteilt wurden, als die Anzeige »Kombi schwarz-weiß (mit Ton)«. Am positivsten wurden die Systeme »Kombi rot« und »LED groß« jeweils mit Warnton beurteilt (Abbildung 7.6).

Effekt	Testergebnis
Haupteffekt »Warnung«	$F(6,78) = 6.17, p = .002$
Kontrast »Kombi rot (mit Ton)« zu »Kombi schwarz-weiß (mit Ton)«	$F(1,13) = 5.96, p = .030, r = .56$
Kontrast »LED groß (mit Ton)« zu »Kombi schwarz-weiß (mit Ton)«	$F(1,13) = 5.52, p = .035, r = .55$
Kontrast »Kombi rot (ohne Ton)« zu »Kombi schwarz-weiß (mit Ton)«	$F(1,13) = 11.99, p = .004, r = .69$

Tabelle 7.3: Übersicht der Testergebnisse der Varianzanalyse für Vergleiche zwischen den Bewertungen der Beliebtheit der untersuchten Systeme.

Wie akzeptabel sind Fehlauflösungen? Auch hier deutete ein signifikanter Mauchly Tests für den Faktor »Warnung« darauf hin, dass nicht von einer Varianzhomogenität ausgegangen werden konnte $\chi(20) = 50.95, p < .001, \varepsilon = .42$. Es gab einen signifikanten Haupteffekt für die »Warnung«. Kontraste zeigten auf, dass die Fahrer mögliche Fehlalarme der Warnungen »Kombi rot (ohne Ton)«, »LED groß (ohne Ton)« und »LED klein (ohne Ton)« signifikant verzeihlicher beurteilten als die der »schwarz-weißen Kombiwarnung (mit Ton)« (Abbildung 7.7).

Effekt	Testergebnis
Haupteffekt »Warnung«	$F(6,78) = 4.56, p = .012$
Kontrast »Kombi rot (ohne Ton)« zu »Kombi schwarz-weiß (mit Ton)«	$F(1,13) = 16.89, p = .001, r = .76$
Kontrast »LED groß (ohne Ton)« zu »Kombi schwarz-weiß (mit Ton)«	$F(1,13) = 4.71, p = .049, r = .52$
Kontrast »LED klein (ohne Ton)« zu »Kombi schwarz-weiß (mit Ton)«	$F(1,13) = 6.25, p = .027, r = .57$

Tabelle 7.4: Übersicht der Testergebnisse der Varianzanalyse für Vergleiche zwischen der Akzeptanz von Fehlauflösungen der untersuchten Systeme.

Wie gut hat Ihnen das System insgesamt gefallen?

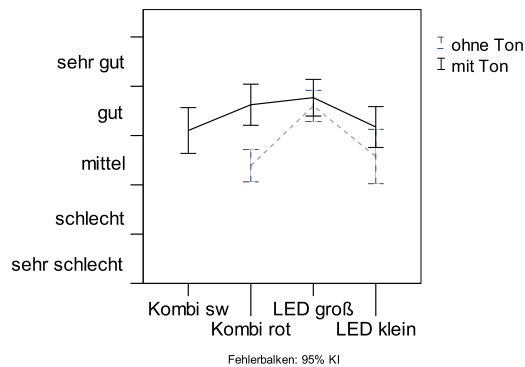


Abbildung 7.6: Gemittelte Angaben über die Beurteilung der untersuchten Warnungen. Die Systeme mit Warnton wurden tendenziell positiver beurteilt, als die Systeme ohne Warnton.

Wie akzeptabel wären Fehlauflösungen dieser Warnung für Sie?

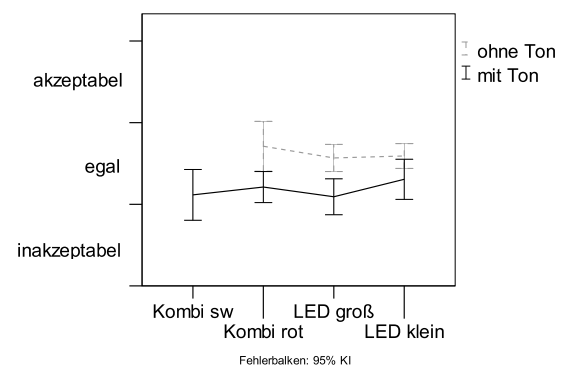


Abbildung 7.7: Gemittelte Angaben über die Akzeptanz von Fehlalarmen der untersuchten Warnungen. Fehlauflösungen der Systeme ohne Ton wurden tendenziell als akzeptabler beurteilt, als von Systemen mit Ton.

7.4 Diskussion

Das Hauptziel der Studie war herauszufinden, ob auf verschiedene unscharfe Warnungen schneller reagiert werden kann, als auf eine klassische symbolhafte Warnung. Tatsächlich wurde ein Unterschied festgestellt. Auf die bimodalen unscharfen Warnungen wurde signifikant schneller reagiert, als auf die bimodale symbolhafte Warnung. Dies bedeutet, dass unter gleichen Bedingungen schneller auf die unscharfen Warnungen reagiert werden konnte. Selbst wenn die unscharfen Warnungen ohne Warnton dargeboten wurden, war die Reaktion immer noch vergleichbar mit der auf die symbolhafte Warnung mit Warnton. Das deutet darauf hin, dass Reaktionszeiten auf kritische Ereignisse im Straßenverkehr durch eine unscharfe Warnungen im Vergleich zu herkömmlichen Systemen beschleunigt werden können.

Zwischen den getesteten unscharfen Warnungen wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. Somit ist keines der Systeme den anderen besonders überlegen gewesen. Die großflächige

Darbietung auf der LED-Leiste hat somit keinen signifikanten Vorteil gegenüber der kleinen Darbietung im Bereich direkt vor dem Fahrer gehabt. Weiterhin deuten die Ergebnisse darauf hin, dass nicht unbedingt eine neuartige Anzeige wie die LED-Leiste benötigt wird, um eine Reaktionsbeschleunigung zu erreichen. Sie zeigen, dass an bisher genutzten Anzeigeorten die Einbringung einer unscharfen Warnung ähnlich positive Effekte hervorruft. Der positive Effekt der unscharfen Darbietung auf die Reaktionszeit könnte hier also mit wenig Aufwand auch durch bereits vorhandene Mittel erreicht werden.

Beide Ergebnisse gelten jedoch zunächst nur für die hier durchgeführte Fahrsimulation. Eine Replikation der Ergebnisse im Feld ist notwendig, um zu prüfen, ob sich diese Effekte auch in der Realität zeigen lassen.

Warum wurde auf die unscharfen Warnungen schneller reagiert? Es bleibt die Frage, warum genau die Probanden unter gleichen Bedingungen auf die unscharfen Warnungen schneller reagiert haben, als auf die symbolhafte Warnung. Der Ton war hier in allen Bedingungen vorhanden und kann daher als Ursache ausgeschlossen werden. Ansonsten unterschieden sich die Anzeigen in mehreren Faktoren. Aufgrund der Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung zur visuellen Verarbeitung des Menschen (Kapitel 2) haben vermutlich die Displaygröße, die farbliche Gestaltung und die Entfernung zum Blickfokus einen Einfluss auf die Reaktionszeit gehabt. Bisherige Ergebnisse zur visuellen Aufmerksamkeit zeigen, dass auf Signale schneller reagiert werden kann, wenn diese groß (Duncan & Humphreys, 1989), auffällig (Theeuwes, 1992) und nahe am Blickfokus (Trösterer et al., 2010) dargeboten werden. Der Blickfokus befand sich hier entweder auf der Straße oder bei der Nebenaufgabe rechts neben dem Fahrer. Aufgrund der Positionierung der Systeme unterschieden sich die Warnungen in ihrer Entfernung zum Blickfokus beim Blick zur Nebenaufgabe intensiver, als beim Blick auf die Straße.

Die beiden LED-Warnungen befanden sich nahe am Blickfokus und waren farbig, dadurch hatten sie in den Bereichen Farbe und Entfernung zwei Vorteile gegenüber der schwarz-weißen Kombiwarnung. Die große LED-Warnung hatte zusätzlich eine größere Warnfläche. Die rote Kombiwarnung befand sich am selben Ort wie die schwarz-weiße. Sie unterschied sich nur durch die farbige Gestaltung und eine etwas größere Fläche. Da hier bereits die Reaktionszeit signifikant schneller war als mit dem schwarz-weißen System, haben die Faktoren Farbe und Displaygröße vermutlich einen starken Einfluss auf die Reaktionszeit gehabt. Eine abschließende Aussage kann jedoch aufgrund der Konfundierung der verschiedenen Faktoren in dieser Studie nicht getroffen werden. Es wäre interessant, in zukünftigen Untersuchungen genau zu klären, welche Faktoren hier wirken und wie stark ihr jeweiliger Einfluss ist.

Hinweis auf Systemunterschiede nur unter Nebenaufgabe Die Nebenaufgabe führte systematisch zu langsameren Reaktionszeiten auf die Warnungen. Dies zeigt, dass die Reaktion der Probanden durch die Ablenkung signifikant beeinträchtigt wurde. Allerdings konnte kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen »Warnung« und »Nebenaufgabe« gefunden werden. Es gab somit keine Warnungen von denen die Fahrer bei Ablenkung besonders profitiert hätten.

Multimodale Darbietungen begünstigen auch unscharfe Warnungen Obwohl der Faktor Ton in dieser Studie nicht systematisch variiert wurde, deuten die Ergebnisse auf einen Effekt des Warntons hin. Die Fahrer dieser Stichprobe haben im Mittel auf eine visuelle Warnung, die mit Ton dargeboten wurde, schneller reagiert. Dies deutet darauf hin, dass eine Unscharfe Warnung von einem Warnton profitiert. Diese Beobachtung fügt sich in bisherige Erkenntnisse ein, die zeigen, dass auf multimodale Warnungen in der Regel schneller reagiert werden kann als auf unimodale (Diederich & Colonius, 2004; Forster et al., 2002; Maier et al., 2011).

Systembewertung Die subjektiven Urteile der Probanden zeigen, dass die Fahrer in dieser Studie Warnungen mit Warnton bevorzugen. Dieses Ergebnis ist überraschend, da in der vorigen Studie (Kapitel 6) das System mit Warnton negativer beurteilt wurde.

Der Grund für diesen Unterschied könnte in der Art der Aufgabe liegen. In dieser Studie wurde den Probanden aufgetragen möglichst schnell auf die Warnungen zu reagieren. Dies geht anscheinend leichter, wenn diese mit einem Warnton einhergeht. Eine langsamere Reaktion könnte als Fehler empfunden werden und daher negativ bewertet werden. Die Situation der vorigen Studie unterscheidet sich dadurch, dass die Probanden die Aufgabe hatten, normal im Verkehr zu fahren. Dort war die Warnung nur ein Hilfsmittel. In den kritischen Situationen reagierten viele Probanden bereits vor dem Einsetzen der Warnung und haben sich vermutlich durch den Ton gestört gefühlt, da dieser nicht das Ereignis darstellte, auf das reagiert werden musste.

Reicht eine unscharfe Kombiwarnung? Die Unscharfen Warnungen haben zu den schnellsten Reaktionszeiten geführt und sich insgesamt gut gegenüber der symbolhaften Warnung bewährt. Besonders interessant ist, dass die Unscharfe Warnung im klassischen Kombidisplay zu ähnlichen Effekten wie die unscharfe LED-Warnungen führte. Um Fahrerreaktionen zu beschleunigen, könnte das Kombidisplay in Zukunft auch für unscharfe Warnungen verwendet werden. Dies wäre kostengünstiger, als eine neue LED-Leiste im Fahrzeug zu verbauen. Allerdings würde hier zwangsläufig eine Vermischung der neuen Unscharfen Warnung mit bisherigen symbolhaften Informationen auf derselben Anzeige auftreten und es ist noch völlig unbekannt, ob sich die verschiedenen Botschaften gegenseitig beeinträchtigen. Maier et al. (2011) gehen davon aus, dass die Fahrer gerade durch die nicht einheitliche Verwendung von Warnsignalen eher verwirrt werden. Eine neue Anzeige, welche nur für eine Funktion eingesetzt wird, kann in diesem Fall sogar sinnvoll sein. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die LED-Leiste breiter ist und daher besser dazu in der Lage ist, eine gerichtete Warnung anzuzeigen. Aufgrund der Breite kann ein Signal tatsächlich in Gefahrenrichtung angezeigt werden, während eine Richtungsangabe im Kombidisplay nur über Text oder Pfeile möglich ist. Sowohl die Wirkung von gerichteten Warnungen, als auch die Kombination von mehreren Warnbotschaften innerhalb einer Anzeige stellen somit zwei neue wichtige Themengebiete dar, die für die Unscharfe Warnung untersucht werden sollten. Werden Fahrer wirklich durch eine Kombination von verschiedenen Warnungen innerhalb einer Anzeige verwirrt? Kann die LED-Leiste tatsächlich auf die Gefahrenrichtung hinweisen? Um diese Fragen zu beantworten, wurde eine Doppelstudie durchgeführt. Diese wird in den nächsten beiden Kapiteln vorgestellt.

8 Kann der Blick mit der Unscharfen Warnung gelenkt werden?

Zusammenfassung Eine Blicklenkung ist mit bisherigen Anzeigen im PKW aufgrund der kleinen Anzeige nur bedingt möglich. Eine Unscharfe Warnung in Form einer LED-Leiste kann hier durch ihre Breite und Nähe zur sichtbaren Umwelt einen Vorteil gegenüber klassischen Anzeigen haben. In dieser Studie wurde daher versucht, den Blick der Probanden auf einen plötzlich die Straße kreuzenden Fußgänger zu lenken. Eine zweistufige Warnung wies die Fahrer auf die Gefahr hin. Dabei wurden die Fahrer durch eine Nebenaufgabe abgelenkt. Insgesamt wurden drei Systeme miteinander verglichen: eine gerichtete Vorwarnung mit ungerichteter Hauptwarnung, nur eine ungerichtete Hauptwarnung und eine Kontrollbedingung ohne Warnung. Die Ergebnisse deuten einen positiven Effekt mit zunehmender Warnstufe auf die Kollisionsgeschwindigkeit an und es konnte eine leichte Blicklenkung erreicht werden. Mit gerichteter Warnung wurde ein sich der Straße nähernder Fußgänger häufiger angeschaut.

8.1 Einleitung

In dieser Arbeit konnte bereits gezeigt werden, dass die LED-Leiste gut sichtbar ist (Kapitel 4), intuitiv verstanden wird (Kapitel 5), im Vergleich mit einem klassischen Warnsystem weniger angeschaut wird (Kapitel 6) und zu schnelleren Reaktionszeiten führt (Kapitel 7). Man kann also festhalten, dass mit einer LED-Leiste mindestens genau so gut gewarnt werden kann, wie mit einer klassischen Anzeige, aber der Blick der Fahrer durch die Leiste weniger von der Straße abgelenkt wird.

Ein weiterer Bereich, in dem die LED-Leiste bisherigen Anzeigekonzepten überlegen sein könnte, ist eine effektivere Blicklenkung. Aus der Grundlagenforschung ist bekannt, dass sich Aufmerksamkeit gezielt durch Lichtsignale ausrichten lässt (Lambert et al., 1987; Remington et al., 1992; Irwin et al., 2000). Dieser Effekt wird meist in Form von Reaktionszeiten auf einen Zielreiz untersucht, welcher durch einen in die richtige oder falsche Richtung zeigenden Hinweis angekündigt wird. Die Reaktionszeiten beschleunigen sich bei einem richtigen und verlangsamen sich bei einem falschen Richtungshinweis. Dieser Testaufbau ähnelt einer Fahrsituation, in der auf eine Gefahr reagiert werden muss (Zielreiz) und der Fahrer durch ein Assistenzsystem (Hinweis) unterstützt wird. Der Effekt sollte sich also auch im Automobilkontext demonstrieren lassen. Eine gerichtete Warnung im Kombi-, Head-Up- oder Multimediadisplay ist aufgrund der sehr kleinen Anzeigeflächen auf richtungsweisende Symbole wie zum Beispiel Pfeile beschränkt. Aufgrund der größeren Breite der LED-Leiste kann eine Warnung dynamisch links oder rechts vom Fahrer dargeboten und somit tatsächlich in Gefahrenrichtung angezeigt werden. Reize in Zielrichtung haben den Vorteil, dass mit ihnen schneller auf die Zielreize reagiert werden kann, als wenn nur ein zentraler Hinweisreiz angezeigt wird (Remington, 1978). Die LED-Leiste hat somit das Potential, den Blick der Fahrer gezielter zu lenken als dies mit klassischen Anzeigen möglich ist. Es ist bisher jedoch unklar, ob dies tatsächlich funktioniert.

Wenn eine Blicklenkung mit der LED-Leiste erreicht werden kann, würde dies ein großes Potential zu Vermeidung von Unfällen bieten, in denen Fahrer einen anderen Verkehrsteilnehmer übersehen haben. Unfälle, in denen fehlende Wahrnehmung eine Rolle spielt, machen

einen Anteil von 38.2 % der schweren Unfälle aus (Briest & Vollrath, 2006). Es gibt Situationen, in denen Fahrer unter hervorragenden Sichtbedingungen durchaus zur Gefahr schauen und diese dennoch übersehen. Dieses »Looked-but-failed-to-see« Phänomen wird besonders an Kreuzungen beobachtet, an denen einfahrende PKWs immer wieder vorfahrtsberechtigte Radfahrer übersehen (Herslund & Jørgensen, 2003). Assistenzsysteme, die den Fahrer bei seiner Wahrnehmung unterstützen und ihn über relevante Gefahren informieren, können helfen, diese Unfälle zu vermeiden.

Die Evaluation der Anzeige sollte an einem Szenario stattfinden, in dem bisher noch viele Unfälle geschehen und daher ein hohes Potential für Fahrassistenz besteht. Einen solchen Bereich stellen innerstädtische Unfälle mit Fußgängern dar. Die Hälfte aller Verkehrsunfallopfer weltweit sind Fußgänger, Radfahrer und Motorradfahrer (World Health Organization, Juni 2009). Allein in der EU geschehen 20.4 % aller Verkehrsunfälle mit Fußgängern (European Commission, 2010b). Zum Einen liegt dies an Autofahrern, welche Situationen falsch einschätzen, denn 16 % der Verkehrsunfälle mit Fußgängern werden mit Fehleinschätzungen oder Informationsfehlern der Fahrer in Verbindung gebracht (European Commission, 2010b). Aber zum Anderen sind auch die Fußgänger selbst mit verantwortlich. Es wird geschätzt, dass unrechtmäßig kreuzende Fußgänger in 58 % der Unfälle an Kreuzungen beteiligt sind (King, Soole & Ghafourian, 2009). Ein Warnsystem, welches die Fahrer frühzeitig auf einen unvorhergesehen kreuzenden Fußgänger hinweist, kann helfen, die Unfallhäufigkeit in diesem Bereich zu verringern. Daher wurde für diese Studie eine innerstädtische Straße als Szenario gewählt in dem vor einer Kollision mit einem Fußgänger gewarnt wird. Die Gefahrensituation, vor der gewarnt wurde, bestand aus einem plötzlich auf die Straße laufenden Fußgänger, welcher bis kurz vor dem Betreten der Straße verdeckt wurde. Um keinen Versuchsteilnehmer zu gefährden, wurde dieser Versuch im Fahrsimulator durchgeführt.

Bereits Mahlke et al. (2007) haben die Blickbewegungen von Probanden bei nächtlichen Fahrten auf Landstraßen in Abhängigkeit zu verschiedenen Nachtsichtsystemen untersucht. In der Untersuchung konnten bereits Hinweise darauf gefunden werden, dass die Unscharfe Warnung mehr dazu genutzt wurde, Fußgänger am Straßenrand zu erkennen, als videobasierte Nachtsichtsysteme. Allerdings wurde in der Studie die Blickrichtung auf der Straße nicht differenziert ausgewertet, sondern eine Blickzuwendung zum System mit anschließender korrekter Identifikation des Fußgängers als Indikator verwendet. Ob der Blick der Probanden nun tatsächlich gelenkt wurde oder nicht, kann daher aus diesen Ergebnissen nicht abgeleitet werden. Darüber hinaus gelten die von Mahlke et al. (2007) gefundenen Ergebnisse nur für Fahrten bei Dunkelheit.

In dieser Studie wurde geprüft, ob sich der Blick der Fahrer mit der Unscharfen Warnung bei Tageslichtbedingungen direkt lenken lässt. Um den Effekt der Blicklenkung zu messen, wurde daher in dieser Studie die tatsächliche Blickrichtung durch die Frontscheibe in Abhängigkeit zur Warnung in drei Stufen (Links, Straße, Rechts) differenziert gemessen. Zusätzlich wurden die Fahrer in dieser Studie abgelenkt und ihre Sicht teilweise durch Hindernisse am Straßenrand eingeschränkt, um die Sichtbarkeit der Fußgänger bei Tageslicht zu erschweren.

Im Gegensatz zur Untersuchung von Mahlke et al. (2007) wurde hier ein kritisches Unfallszenario untersucht. Daher konnte über die Blickbewegung hinaus auch die Fahrerreaktion untersucht werden. Unabhängig von den Blickbewegungen konnte daher gleichzeitig auch erfasst werden, ob die Warnungen zu einer Reaktionsverbesserung beitragen. Aufgrund der Entscheidung zur Verwendung eines kritischen Ereignisses, war es nicht sinnvoll, das System von Mahlke et al. (2007) unverändert wieder zu verwenden. Es wäre nicht auffällig genug für die Dringlichkeit der Reaktion gewesen. Daher wurde entschieden eine zweistufige Warnung zu verwenden, wie es Maier et al. (2011) getan haben. Sie unterteilten ihr System in eine Vorwarnung, die frühzeitig auf mögliche Kollisionen hinwies, und eine spätere Hauptwarnung, die vor einer unmittelbar bevorstehenden Kollision warnte. In der Studie von Maier et al. (2011) erfolgte die gerichtete

Warnung in der ersten Stufe und die zweite Stufe bestand aus einer ungerichteten aber dafür größeren Warnung. Die Vorwarnung setzte zwar frühzeitig ein, aber war auch unzuverlässiger. Es kam hier häufiger zu Fehlalarmen.

In der hier vorgestellten Studie wurde diese Systemauslegung gewählt, um eine realistische Systemdarstellung zu erreichen. Heute verfügbare Fahrzeugsensoren können bereits sehr früh mögliche Gefahren erkennen. Sie sind jedoch erst sehr kurz vor einem Unfall dazu in der Lage, mit genügender Sicherheit festzustellen, ob es wirklich zu einer Kollision kommen wird oder nicht. Die zweistufige Warnung stellt eine Anpassung an diese Gegebenheiten dar. Sie hat den Vorteil sowohl frühzeitig bei minimaler Aufdringlichkeit auf Gefahren hinzuweisen, als auch bei Verschärfung der Situation auffällig auf den notwendigen Eingriff aufmerksam machen zu können. Die gerichtete Warnung wurde über einen nach links oder rechts zum Fahrer versetzten roten Lichtbalken realisiert. Aufgrund der asymmetrischen Position des Fahrers im Fahrzeug wird eine mittig vor ihm präsentierte Warnung links von der Fahrzeugmitte angezeigt. Dadurch steht in Ländern mit Rechtsverkehr für eine gerichtete Warnung per LED-Leiste rechts vom Fahrer mehr Platz zur Verfügung als links von ihm. Um in dieser Studie keiner Seite einen Vorteil zu geben, wurde daher nicht die gesamte Breite der Lichtleiste genutzt.

Fragestellung In dieser Studie wurde die Frage untersucht, ob mit Hilfe einer gerichteten Warnung per LED-Leiste der Blick von abgelenkten Fahrern zur Gefahr gelenkt werden kann. Zusätzlich wurde untersucht, ob sich die Reaktion der Fahrer durch die gerichtete Vorwarnung oder ungerichtete Hauptwarnung verbessert.

8.2 Methode

8.2.1 Versuchsdesign

In diesem Versuch wurde der Effekt einer LED-Warnung auf das Fahrverhalten untersucht. Dabei wurde der Faktor »Warnung« in den drei Stufen »Ohne Warnung«, »Hauptwarnung« und »Vor- und Hauptwarnung« im Gruppendedesign variiert. Als abhängige Variablen wurden Blickbewegungen, die abgebaute Geschwindigkeit und die subjektiv empfundene Blicklenkung der Systeme gemessen. Das Gruppendedesign wurde verwendet, um die zu erwartenden starken Lerneffekte nach einmaliger Konfrontation mit dem kritischen Ereignis zu eliminieren.

8.2.2 Stichprobe

An der Studie nahmen 36 Probanden (47 % weiblich) im Alter von 19-55 Jahren teil. Der Median des Alters lag bei 23 Jahren. Alle Teilnehmer waren zum Zeitpunkt der Studie im Besitz eines gültigen Führerscheins, den sie im Mittel seit 5 Jahren besaßen. Es handelte sich überwiegend um Studenten der TU-Braunschweig, die eine mittlere Gesamtfahrleistung von 60 000 km aufwiesen. Alle Probanden verfügten über normale oder auf normales Niveau korrigierte Sicht. Für die Teilnahme erhielten die Probanden als Gegenleistung wahlweise entweder für ihr Studium benötigte VP-Stunden oder eine Aufwandsentschädigung von 10,- Euro pro Stunde.

8.2.3 Material

Fahrssimulator und Blickerfassung Auch in diesem Versuch wurde der gleiche Fahrssimulator und das gleiche Blickerfassungssystem wie aus der Studie in Kapitel 6.2.3 verwendet. Das Sichtfeld wurde für die Blickdatenauswertung aufgeteilt (Abbildung 8.1). Bei dem verwendeten System nimmt die Genauigkeit der Blickerfassung ab, je weiter der fixierte Punkt in der Peripherie liegt. Um die leichten Ungenauigkeiten auszugleichen, wurden die aktiven Bereiche hier

größzügiger gewählt. Während eines Blicksprungs zwischen zwei Bereichen kann es passieren, dass kurz eine Blickzuwendung in einem dazwischen liegenden Bereich registriert wird. So kann es bei einem Blicksprung zwischen »Tacho« und »Straße« zu einem kurzen Blick auf die LED-Leiste kommen. In der Regel erfolgt hier keine bewusste Blickzuwendung, sondern der Blick springt nur über den Bereich. Um Artefakte durch dieses Durchkreuzen zu vermeiden wurden Blickzuwendungen von unter 200 ms von der Auswertung ausgenommen.



Abbildung 8.1: Das Sichtfeld der Probanden wurde für die Blickauswertung in sechs Bereiche unterteilt. Die rötliche Darstellung der Displays kommt dadurch zustande, dass die Blickkamera ohne Infrarotfilter arbeitet. Dieser Rotstich war für die Probanden nicht sichtbar. Die rötlichen Marker leuchteten nur im Infrarotbereich und waren im Versuch nicht sichtbar.

Versuchsstrecke Die Versuchsfahrt fand auf einer innerstädtischen Strecke mit sieben identischen Abschnitten statt. Jeder Abschnitt begann mit einer Kurve, auf die eine Kreuzung folgte. Danach wurde eine gerade Straße entlanggefahren. Am Ende des Abschnittes befanden sich noch einmal zwei Kreuzungen und eine abschließende Kurve, welche nahtlos in den nächsten Abschnitt überging. Es gab auf der Strecke keinen Verkehr, jedoch parkten am Straßenrand einige Autos in Parkbuchten, welche die Sicht auf den Bürgersteig einschränkten. Außerdem liefen auf den Gehwegen Fußgänger umher. Kurz hinter der ersten Kreuzung befand sich auf der rechten Straßenseite ein größerer Parkplatz. Dieser war so aufgebaut, dass parkende Autos und ein LKW die Sicht auf den Parkplatz stark einschränkten.

Die ersten vier Streckenabschnitte sollten den Probanden die Möglichkeit geben, sich an die Nebenaufgabe und die Simulatorfahrt zu gewöhnen. In den letzten drei Streckenabschnitten wurden die Fahrer dann mit drei Ereignissen konfrontiert (Abbildung 8.2). In den Abschnitten fünf und sechs wurden die Fahrer mit zwei potentiellen Gefahrensituationen konfrontiert. Hier näherte sich jeweils einer der am Straßenrand umherlaufenden Fußgänger langsam von rechts (Abschnitt 5) oder schnell von links (Abschnitt 6) der Straße, blieb jedoch rechtzeitig am Straßenrand stehen. Für die Fahrer war auf den ersten Blick nicht ersichtlich, ob der Fußgänger über die Straße laufen würde oder nicht. Zusätzlich waren die Fußgänger nicht besonders auffällig und es war möglich, sie zu übersehen. Da in beiden Fällen eine potentielle Gefahr vorlag, diese aber nicht eskalierte, gab es hier nur bei der Gruppe »Vor- und Hauptwarnung« eine Warnung in Form der ersten Warnstufe. Auf diese Weise sollte geprüft werden, ob der Blick der Fahrer auf die Fußgänger gelenkt werden kann und wie die Fahrer reagieren. Erst im letzten Durchgang (Abschnitt 7) wurden die Probanden durch einen plötzlich von rechts auf die Straße laufenden Fußgänger überrascht (Abbildung 8.3). Die ersten beiden Fußgänger liefen an Stellen, die von der Straße gut einsehbar waren (Abschnitt 5 & 6). Der letzte Fußgänger, der plötzlich auf die

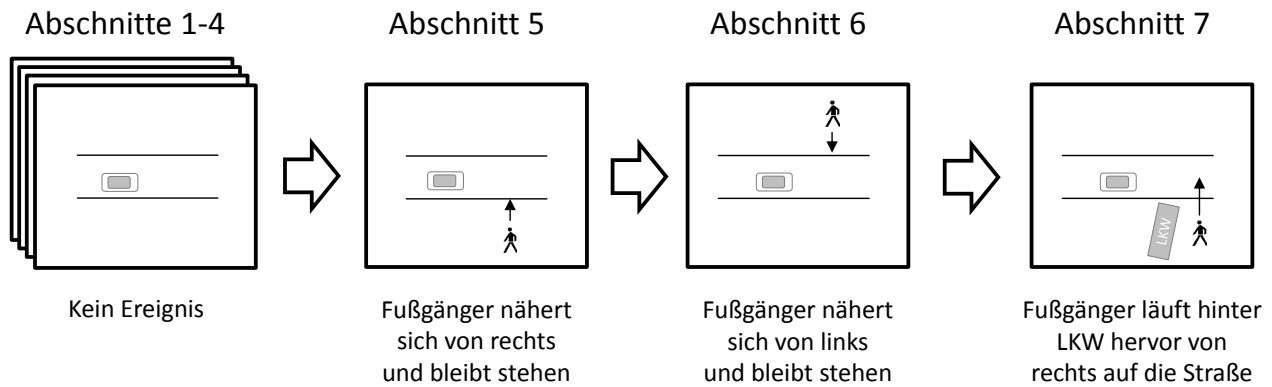


Abbildung 8.2: Übersicht vom Ablauf mit relevanten Ereignissen. In den Abschnitten fünf bis sieben gab es einen Fußgänger, welcher sich der Straße näherte, doch nur im siebten Abschnitt lief dieser auch auf die Straße, um eine Bremsreaktion zu provozieren.

Straße lief, wurde durch einen parkenden LKW stark verdeckt und war somit erst kurz bevor er die Straße betrat sichtbar (Abschnitt 7).

Nebenaufgabe Als Nebenaufgabe wurde die bereits in Kapitel 7.2.3 beschriebene SURT verwendet. Um die Ablenkung der Probanden zeitlich gezielt hervorrufen zu können, wurde ein festes Intervall verwendet, in dem die SURT bearbeitet werden musste. Jeweils nach 98 m gefahrener Strecke wurde eine SURT-Aufgabe eingeblendet. Dies entsprach bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 50 km/h einer Fahrtzeit von etwa 7 s. Jeder neue Durchgang wurde durch einen kurzen Ton angekündigt und die Probanden hatten dann jeweils 3 s Zeit, um ihre Antwort zu geben. Die Probanden lernten dadurch, auf den Ton mit Bearbeitung der Nebenaufgabe zu reagieren. Der Zeitpunkt der Ablenkung konnte somit zeitlich sehr genau kontrolliert werden.

Damit die Probanden nicht dazu verleitet wurden, die Bearbeitung der Nebenaufgabe zugunsten der Beobachtung der Straße aufzuschieben, wurde die Nebenaufgabe so eingestellt, dass das Timing der ersten beiden unkritischen Fußgängerereignisse genau in eine Bearbeitungspause fiel. Erst beim letzten kritischen Fußgängerereignis wurde hingegen eine maximale Ablenkung gewünscht. Daher fiel das Timing der Nebenaufgabe hier genau auf den Zeitpunkt, kurz bevor der auf die Straße zulaufende Fußgänger sichtbar wurde.

Warnsystem Das Warnsystem bestand aus einer zweistufigen Gefahrenwarnung, die jedoch nur in der Bedingung »Vor- und Hauptwarnung« komplett eingeblendet wurde. In der Bedingung »Hauptwarnung« wurde nur die zweite Stufe eingeblendet. Die Vorwarnung hatte die Aufgabe, die Fahrer auf eine potentielle Gefahr hinzuweisen und bestand aus einem 15 cm breiten roten Balken, der leicht in Gefahrenrichtung versetzt vor dem Fahrer erschien (Abbildung 8.3, links). Die Hauptwarnung hatte die Aufgabe, die Fahrer vor einem unmittelbar bevorstehenden Unfall zu warnen und zur Bremsung aufzufordern. Sie bestand aus einem 45 cm breiten roten Balken, der zentriert vor dem Fahrer dargeboten wurde und mit 4 Hz blinkte (Abbildung 8.3, rechts). Die Vorwarnung wurde 2.5 s, die Hauptwarnung 1.0 s vor einem möglichen Unfall eingeblendet. Während die Vorwarnung bei allen drei Fußgängerereignissen sichtbar wurde, war die Hauptwarnung nur beim kreuzenden Fußgänger sichtbar. Bei den beiden Fußgängern, die am Straßenrand stehen blieben, erlosch die Vorwarnung wieder, nachdem die Fußgänger passiert waren.



Abbildung 8.3: Nicht kritisches Ereignis, in dem ein Fußgänger an den Straßenrand läuft und stehenbleibt (links). Die LED-Leiste zeigt hier die Vorwarnung. Kritisches Ereignis, in dem ein Fußgänger plötzlich vor dem Fahrer auf die Straße läuft (rechts). Die LED-Leiste zeigt hier die Hauptwarnung.

8.2.4 Ablauf

Die Probanden wurden begrüßt und der Führerscheinbesitz kontrolliert. Alle Probanden gaben ihr Einverständnis zur anonymen Verarbeitung der im Versuch erhobenen Daten und füllten einen demographischen Fragebogen aus. Danach wurden Sie zufällig per Würfelentscheidung einer der drei Bedingungen zugewiesen. Jeder Proband stellte den Fahrersitz im Simulator so ein, dass die Straße gut sichtbar war und die LED-Leiste nicht verdeckt wurde. Daraufhin wurde ihnen das Blickerfassungssystem aufgesetzt und kalibriert. Die Versuchsanweisung wurde schriftlich gegeben, um Einflüsse des Versuchsleiters in der Formulierung auszuschließen. Die Probanden wurden darüber aufgeklärt, dass sie den Versuch bei Anzeichen von Unwohlsein oder Übelkeit jederzeit abbrechen können. Sie erhielten die Anweisung, aufgrund der Fahrt innerhalb eines Stadtgebietes nicht schneller als 50 km/h zu fahren. Wenn die gefahrene Geschwindigkeit mehr als 10 km/h von 50 km/h abwich, wurden die Probanden automatisch über eine aufgezeichnete Stimme daran erinnert, ihre Geschwindigkeit anzupassen.

Um nicht gleich von Beginn an die Aufmerksamkeit der Probanden auf die Fußgänger zu lenken, wurde den Teilnehmern aus den Gruppen mit Warnung mitgeteilt, dass sie während der Fahrt durch ein Warnsystem unterstützt werden würden, das sie auf mögliche Kollisionen hinweist. Die Warnung wurde ihnen daraufhin am Beispiel eines Auffahrszenarios demonstriert. Die Fahrer wurden weiterhin angewiesen, die Nebenaufgabe kontinuierlich während der Fahrt zu bearbeiten, wenn der Ton erklingt. Um Störeinflüsse zu minimieren, befanden sich die Fahrer während des Versuchs alleine im abgedunkelten Simulatorraum. Die Tür wurde für die Dauer des Versuchs geschlossen. Daraufhin wurde die Versuchsfahrt gestartet. Die Datenerhebung dauerte etwa 8 min. Zum Ende füllten die Probanden einen Systemfragebogen aus, wurden für die Teilnahme entschädigt und verabschiedet.

8.3 Ergebnisse

Alle Effekte werden ab $p < .05$ als signifikant berichtet. Allgemein führte die Nebenaufgabe zu einer guten Ablenkung. Beinahe alle Probanden schauten zum Zeitpunkt des kritischen Ereignisses von der Straße weg.

8.3.1 Hat die LED-Warnung den Blick zur Gefahr gelenkt?

Blickbewegungen bei potentieller Gefahr

In Abschnitt 5 und 6 wurden die Fahrer mit zwei sich der Straße nähernden Fußgängern konfrontiert, welche jedoch rechtzeitig am Straßenrand stehen blieben. Dies konnten die Fahrer jedoch nicht vorher wissen. Es wurde daher erwartet, dass die Fahrer den beiden Fußgängern eine erhöhte Aufmerksamkeit zuwenden würden. Diese kann über eine erhöhte Blickhäufigkeit oder eine längere Blickdauer operationalisiert werden. Um zu prüfen, ob die gerichtete Vorwarnung den Blick in Richtung Fußgänger gelenkt hat, wurde sowohl auf Unterschiede in der kumulierten Blickdauer, der Anzahl der Blicke, als auch der mittleren Blickdauer getestet.

Da es sich hier um zwei unkritische Ereignisse handelte, wurde nur die Vorwarnung der Gruppe »Vor- und Hauptwarnung« aktiv. Die beiden anderen Gruppen erlebten hier keine Warnung. Aus diesem Grund wurde hier nur die Gruppe »Vor- und Hauptwarnung« mit der Gruppe »Ohne Warnung« verglichen. Betrachtet wurde das Intervall zwischen dem frühesten Warnzeitpunkt ($TTC = 2.5\text{ s}$) und dem Passieren des Fußgängers.

Bei allen Vergleichen wurde die Voraussetzung der Normalverteilung der Daten sowohl visuell, als auch mit dem Kolmogorov-Smirnov Test überprüft. Wenn es Hinweise auf eine Verletzung der Normalverteilungsannahme gab, wurden die beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney Test miteinander verglichen. Ansonsten wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben verwendet. In beiden Abschnitten, in denen sich Fußgänger dem Straßenrand näherten und rechtzeitig stehen blieben, gab es nur einen signifikanten Unterschied im Blickverhalten. In Abschnitt 5, schauten die Fahrer signifikant häufiger zum sich langsam von rechts nähernden Fußgänger, wenn sie mit Vorwarnung gefahren sind $U = 40.0$, $z = -2.0$, $p = .041$, $r = -.58$ (Abbildung 8.4).

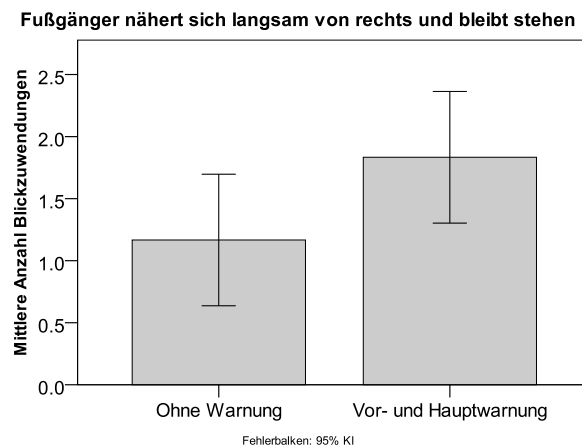


Abbildung 8.4: Blickzuwendungen zum sich der Straße nähernden Fußgänger aufgeteilt nach zwei Warnbedingungen. Mit Vorwarnung wurde häufiger zum Fußgänger geschaut, als ohne Warnung.

Blickbewegungen beim kritischen Ereignis

Beim kritischen Ereignis in Abschnitt 7 wurden die Fahrer visuell von der Straße abgelenkt, während ein durch ein Hindernis verdeckter Fußgänger plötzlich auf die Straße lief. In dieser Situation war es wichtig, dass die Fahrer so schnell wie möglich reagierten, um einen Unfall zu verhindern oder zumindest die Schwere zu vermindern. Ein frühzeitiges Erkennen der Gefahr war hier somit wichtiger, als die Anzahl oder Dauer der Betrachtung. Daher wurde hier die Blickreaktionszeit berechnet. Diese ergibt sich aus der zeitlichen Differenz zwischen Sichtbarwerden der Gefahr und einem Blick in Gefahrenrichtung (Rechts). Fälle in denen die Probanden bereits beim Erscheinen des Fußgängers zur Gefahrenrichtung blickten oder kein Blick in Gefahrenrichtung innerhalb der Zeit erfolgte, bis der Fußgänger passiert wurde, wurden von der

Auswertung ausgeschlossen. Die Anzahl der Fälle, die verwendet werden konnten, betrug in allen Gruppen etwa 83 % und verteilte sich somit gleichmäßig über alle Bedingungen.

Der Richtungshinweis in der Vorwarnung sollte den Blick der Fahrer auf die Gefahr lenken. Daher wurde hier gezielt die Gruppe »Vor- und Hauptwarnung« mit der Gruppe »Ohne Warnung« verglichen. Ein Kolmogorov-Smirnov Test zeigte keinen Hinweis auf eine Verletzung der Normalverteilungsannahme, daher wurden die beiden Gruppen mit einem t-Test für unabhängige Stichproben miteinander verglichen. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (Abbildung 8.5).

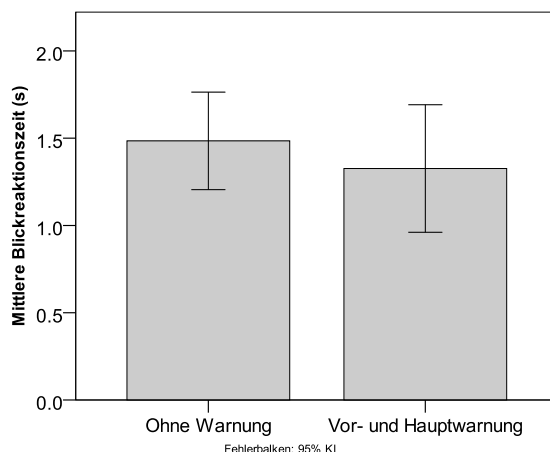


Abbildung 8.5: Benötigte Zeit für Blick in Gefahrenrichtung nach Sichtbarwerden der Gefahr, aufgeteilt nach Gruppe. Tendenziell schauten die Fahrer mit »Vor- und Hauptwarnung« etwas schneller in die Gefahrenrichtung. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant.

8.3.2 Wurde der Richtungshinweis verstanden?

Neben der objektiven Blickrichtung wurde auch die subjektive Wahrnehmung der Probanden erfasst. Nach dem Versuch wurden die Probanden der Gruppe »Hauptwarnung« und »Vor- und Hauptwarnung« gebeten zu beurteilen, ob die Warnung sie auf die Richtung der Gefahr hingewiesen hat. Sie beurteilten die Warnungen auf einer Skala von 0 (gar nicht) bis 15 (sehr stark). Hier zeigte sich, dass die meisten Probanden beide Warnungen nur als wenig richtungsweisend empfanden (Abbildung 8.6). Allerdings wurde die »Vor- und Hauptwarnung« immer noch als richtungsweisender beurteilt, als die »Hauptwarnung«.

8.3.3 Konnte die LED-Warnung die Reaktionen der Fahrer verbessern?

Neben der Blickrichtung wurde auch das Fahrverhalten der Probanden ausgewertet. Ein Blick auf den Verlauf der Bremspedalaktivität deutet darauf hin, dass beide Warnungen einen positiven Effekt auf das Bremsverhalten der Fahrer haben (Abbildung 8.7). Mit Warnung wurde früher und intensiver gebremst als »ohne Warnung«.

Als allgemeines Maß für die Schwere eines potentiellen Unfalls wurde die abgebaute Geschwindigkeit näher betrachtet. Diese berechnete sich aus der Differenz zwischen der Geschwindigkeit zum frühesten Warnzeitpunkt (bei einer TTC von 2.5 s) und der Geschwindigkeit bei Kollision mit dem Fußgänger. Wenn die Fahrer rechtzeitig zum Stehen kamen, wurde die Ausgangsgeschwindigkeit als komplett abgebaut gewertet.

Signifikante Levene- und Kolmogorov-Smirnov Tests deuteten darauf hin, dass nicht von einer Varianzhomogenität oder Normalverteilung der Daten ausgegangen werden konnte. Daher wurden die Verteilungen der drei Gruppen mit dem parameterfreien Kruskal-Wallis Test

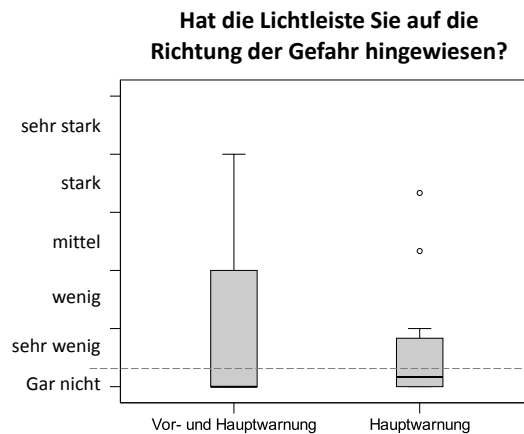


Abbildung 8.6: Antworthäufigkeiten über Wirksamkeit des Richtungshinweises für die beiden Bedingungen mit Warnung. Beide Warnsysteme wurden nur als wenig richtungsweisend empfunden. Mit Vorwarnung war dieser Eindruck etwas stärker.

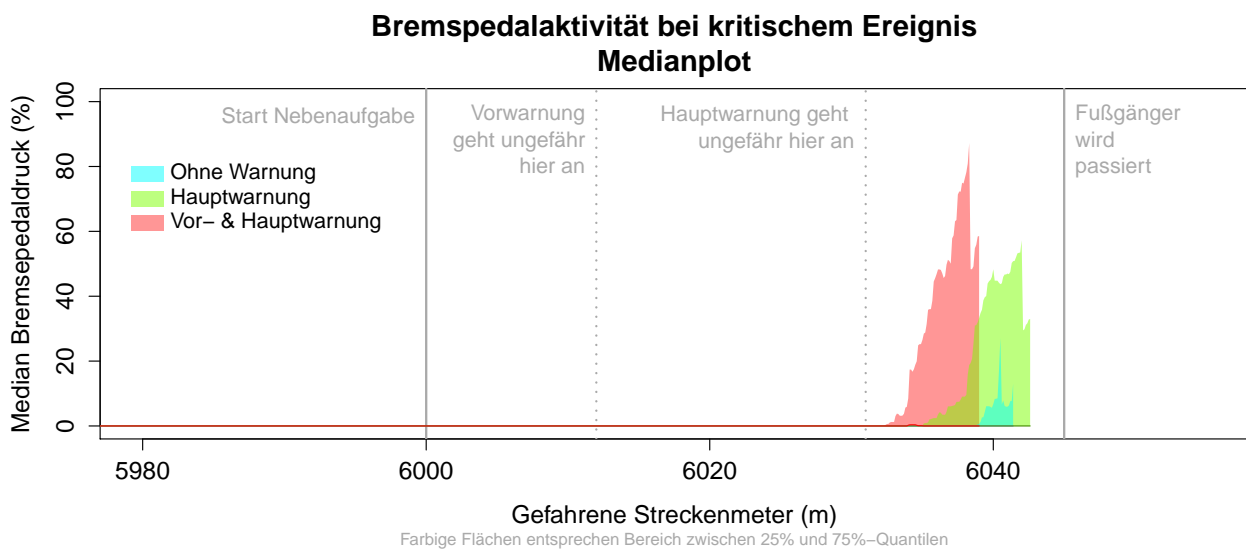


Abbildung 8.7: Verlauf der Bremspedalaktivität bei kritischem Ereignis als Quantilverteilung. Für jeden Streckenmeter wurden der Median sowie die 25 % und 75 % Quantile der Bremspedalaktivität für alle Probanden gebildet. Die Mediane der Aktivität unter den verschiedenen Versuchsbedingungen sind als Linien, die Quantile als Flächen abgebildet. In dieser Abbildung liegen die Mediane sehr dicht an der x-Achse und nur die oberen Quantilverteilungen sind als Flächen sichtbar. Der Graph ist am Ende abgeschnitten, da die Datenerhebung beendet wurde, wenn ein Proband zum Stillstand kam oder die Gefahr passiert hatte und die Daten nur so weit gezeichnet wurden, wie von allen Fahrern Daten vorlagen.

miteinander verglichen. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Warnungsbedingungen $H(2)=1.72$, $p = .423$. Ein Blick auf die Boxplots der abgebauten Geschwindigkeit zeigt, dass sich die Gruppen besonders in ihrer Varianz unterschieden (Abbildung 8.8). Während die Probanden ohne Warnung kaum Geschwindigkeit abbauten, gab es in den Gruppen mit Warnung einige Fahrer, die ihre Geschwindigkeit mittel bis stark abbauen konnten. Der positive Effekt der Warnung trat somit nur bei einigen Probanden auf, doch ihr Anteil nahm mit zunehmender Warnstufe zu.

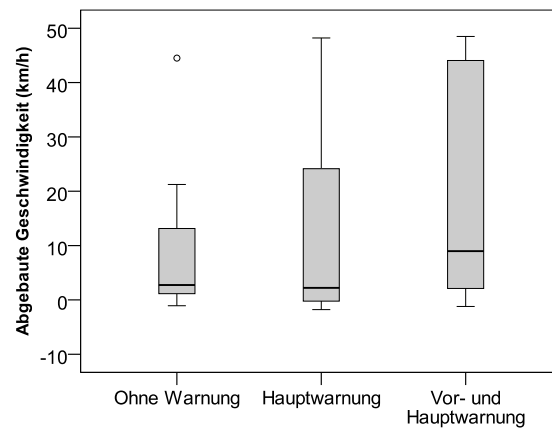


Abbildung 8.8: Abgebaute Geschwindigkeit bei Reaktion auf plötzlich kreuzenden Fußgänger aufgeteilt nach Warnung. Je intensiver die Warnung, desto mehr Fahrer bauten eine höhere Geschwindigkeit ab.

8.4 Diskussion

Schwacher Einfluss auf das Blickverhalten Ziel dieser Untersuchung war es, herauszufinden, ob sich der Blick von Autofahrern mit Hilfe einer gerichteten LED-Warnung in eine Gefahrenrichtung lenken lässt. Von drei untersuchten Ereignissen wurde der Blick der Fahrer nur bei dem sich langsam der Straße nähernden Fußgänger nachweisbar gelenkt. Dies könnte bedeuten, dass die Fahrer bei diesem Ereignis unsicherer über das weitere Verhalten waren, als bei dem sich schnell der Straße nähernden Fußgänger. Die potentielle Gefahr eines schnell auf die Straße zulaufenden Fußgängers ist relativ eindeutig, während ein langsam auf die Straße zugehender Fußgänger nicht als unmittelbare Gefahr zu erkennen ist. Eine Warnung hat somit beim schnell laufenden Fußgänger einen geringeren Informationsgehalt, als beim langsam gehenden. Dies würde erklären, warum beim sich langsam nähernden Fußgänger mehr Blicke in die Gefahrenrichtung erfolgten. Vermutlich prüften die Fahrer das Verhalten des Fußgängers häufiger, um die Gefahr besser abschätzen zu können. Die Warnung hatte somit in der unklaren Situation den größten Nutzen für die Fahrer.

Im letzten kritischen Ereignis waren die Fahrer durch die Nebenaufgabe stark abgelenkt und der auf die Straße laufende Fußgänger war verdeckt. Sie hatten nur wenig Zeit, um zu reagieren. Hierdurch wurde die Blicklenkung eventuell beeinträchtigt. Da die Vorwarnung unaufdringlich gestaltet war, reichte ihre Intensität vermutlich nicht aus, um die Blicke der abgelenkten Fahrer zu lenken.

Weiterhin muss erwähnt werden, dass auch die Darbietungsreihenfolge nicht als Ursache für den Effekt ausgeschlossen werden kann, da das Ereignis des sich langsam nähernden Fußgängers für alle Probanden das erste Warnereignis darstellte. Nur eine gezielte Variation der Reihenfolge der Ereignisse in zukünftigen Studien kann diese Frage klären.

Die hier gefundenen Ergebnisse über den Effekt einer Blicklenkung lassen sich teilweise auf die der Grundlagenforschung übertragen. Zwar konnte eine Blicklenkung anhand eines peripheren Hinweisreizes erreicht werden, dieser war jedoch schwach und nur in einem von drei Ereignissen nachweisbar. Die subjektiven Antworten der Probanden deuten darauf hin, dass die Wirkung dennoch ausreichte um subjektiv wahrgenommen zu werden. Diese Aussagen decken sich mit den Ergebnissen von Fricke (2009). Auch sie untersuchte eine gerichtete periphere Warnung in Form einer LED-Leiste. Nur 13.8 % ihrer Testfahrer gaben an, die gerichtete Darbietung auch als solche erkannt zu haben.

Der Hauptgrund für die schwache Wirkung ist vermutlich die geringere Salienz der in dieser Studie verwendeten gerichteten Vorwarnung. In klassischen Wahrnehmungsexperimenten werden nur einzelne Hinweisreize variiert, während die restliche visuelle Szene gleich bleibt. Eine Situation im Fahrsimulator unterscheidet sich dadurch, dass die visuelle Szene insgesamt hochkomplex und bewegt ist. Ein Hinweisreiz wirkt daher im Setting eines Labors sicherlich auffälliger, als wenn derselbe Reiz im Fahrsimulator dargeboten wird. Dies würde bedeuten, dass eine auffälligere Vorwarnung vermutlich besser dazu in der Lage wäre, den Blick der Fahrer zu lenken. Dies könnte durch Animation, hellere Darstellung oder Blinken erreicht werden. Im Versuch von Mahlke et al. (2007) wurde die Erkennungsleistung der Probanden positiv durch die LED-Leiste beeinflusst. Im Unterschied zu dieser Studie war ihre Warnung animiert und wurde farbig in Dunkelheit dargestellt. Dadurch wies ihre Anzeige im Vergleich zu der hier verwendeten eine höhere Salienz auf.

Eine andere Erklärung für den geringen Einfluss der Warnung auf die Blickrichtung könnte der Warnzeitpunkt sein. Die hier verwendeten 2,5 s sind zwar durchaus realistisch für eine Gefahrenwarnung im Stadtverkehr, aber immer noch relativ kurz für eine angemessene Reaktion. Es ist möglich, dass ein früherer Hinweis effektiver sein würde. Wenn dies stimmt, so eignet sich die gerichtete Vorwarnung besonders für Situationen in denen die Fahrer noch genügend Zeit zum Reagieren haben.

Positive Wirkung auf die Fahrreaktion Aus pragmatischer Sicht könnte man auch argumentieren, dass eine Blicklenkung der Fahrer letztendlich irrelevant ist, solange die Fahrer mit Hilfe der Warnung besser reagieren und wenn anhand einer Warnung die Unfallschwere vermindert werden kann. Daher wurde hier neben dem Blickverhalten auch die Bremsreaktion der Fahrer untersucht. Die Varianz der im Mittel abgebauten Geschwindigkeit stieg mit zunehmendem Warnlevel. Dies deutet darauf hin, dass die Warnung nicht generell die Reaktionen aller Fahrer gleichmäßig verbessert, sondern dass die Anzahl der Fahrer, die von ihr profitieren, zunimmt. Auch wenn der Effekt auf die abgebaute Geschwindigkeit in dieser Untersuchung nicht signifikant wurde, deutet dies darauf hin, dass die Fahrer von einer früheren Warnung profitierten, obwohl sie den damit verbundenen Richtungshinweis kaum als solchen verstanden. Auch hier ließe sich der Effekt vermutlich durch ein auffälligeres Warnsystem oder eine frühere Warnung noch verbessern.

Fazit Der erwartete Vorteil der LED-Leiste den Blick der Fahrer lenken zu können, konnte in dieser Studie nur schwach nachgewiesen werden. Allerdings gab es Hinweise auf einen positiven Effekt der Warnung auf die abgebaute Geschwindigkeit bei einem kritischen Ereignis.

9 Wie reagieren Fahrer auf eine unscharfe Nebelinformation?

Zusammenfassung In dieser Studie wurde untersucht, wie Fahrer auf eine unscharfe Nebelinformation reagieren, wenn sie vorher die Anzeige als Gefahrenwarnung erlebt haben. Die Fahrer wurden jeweils 3 s vor Auftreten einer Nebelbank durch zwei aufblinkende gelbe Lichter oder einen konstant leuchtenden gelben Balken auf das Ereignis hingewiesen. Die Lichter blinkten nur für 3 s, der Balken leuchtete bis der Nebel durchquert war. Beide System erwiesen sich als effektiv, um die Geschwindigkeit, mit welcher der Nebel durchfahren wurde, zu verringern. Bei der Gruppe, welche den Balken erlebte, kam es jedoch zu gefährlichen Überreaktionen. Dies lässt sich vermutlich auf die höhere Ähnlichkeit dieser Anzeige zur vorher erlebten Gefahrenwarnung zurückführen.

9.1 Einleitung

In den bisherigen Untersuchungen zur Unscharfen Warnung wurde die LED-Leiste überwiegend als Warnung eingesetzt (Fricke, 2009; Maier et al., 2011). Doch die Anzeige eignet sich auch als Informationssystem. Beide Anwendungsgebiete unterscheiden sich besonders dadurch, dass bei einem Warnsystem eine unmittelbare Reaktion erforderlich ist, bei einem Informationssystem hingegen nicht. Eine Information dient eher der Handlungsvorbereitung als der unmittelbaren Reaktion. Man könnte auch eine zeitliche Unterscheidung treffen. Während eine Warnung meist erst sehr kurz vor dem Ereignis dargeboten wird, kann eine Information oft frühzeitig dargestellt werden. Mahlke et al. (2007) haben das Potential der LED-Leiste als Informationsdisplay bereits am Beispiel eines Nachtsichtsystems untersucht und eine gute Wirkung der Anzeige im Vergleich zu videobasierten Systemen zeigen können. Allerdings wurden die Fahrer hier nur mit dem informierenden System konfrontiert und es fand kein Vergleich zu einem Warnsystem statt. Für einen Einsatz der Anzeige im Straßenverkehr ist es jedoch sehr wahrscheinlich, dass diese sowohl für Informations-, als auch zu Warnzwecken eingesetzt wird. Auch klassische Anzeigen, wie das Kombidisplay werden vielseitig für verschiedene Anwendungsbereiche genutzt.

Wenn eine Anzeige kombiniert für mehr als einen Zweck verwendet wird, ist es wichtig, dass die Fahrer sofort erkennen, ob es sich um eine Warnung oder Information handelt, da in beiden Fällen eine Fehlreaktion fatal sein kann. Wird ein Warnsystem fälschlicherweise als Information interpretiert, erfolgt eine Reaktion zu spät. Wird hingegen auf eine Information mit abrupter Bremsung reagiert, kann ungewollt ein Auffahrunfall provoziert werden.

Bei bisherigen Anzeigen ist die Unterscheidung durch die symbolische Darstellung der Botschaft vereinfacht. Dies ist über die LED-Leiste nicht möglich. Es stellt sich die Frage, ob eine unscharfe Anzeige so gestaltet werden kann, dass die Fahrer angemessen auf verschiedene Botschaften reagieren. Möller und Frings (2010) konnten bereits am Beispiel von symbolhaften Warnsignalen zeigen, dass die Reaktion auf eine handlungsrelevante Warnung durch vorherige Erfahrung mit einer visuell ähnlich gestalteten irrelevanten Anzeige beeinträchtigt wurde. Es ist daher zu erwarten, dass bei ähnlich gestalteten unscharfen Anzeigen ein ähnlicher Effekt eintreten wird.

In dieser Studie wurden die Fahrer daher mit einer Nebelinformation auf einer Autobahnfahrt konfrontiert, direkt nachdem sie auf der selben Anzeige eine Kollisionswarnung in einem

(Beinahe-) Unfall mit einem Fußgänger erlebt haben (Kapitel 8). Zwei Informationssysteme wurden getestet. Während das erste eine sehr hohe Ähnlichkeit zur vorher erlebten Kollisionswarnung hatte, war die Ähnlichkeit zum zweiten Informationssystem gering.

Als Gefahrenzone wurde eine Nebelbank gewählt. Im Nebel ist die Sichtweite erheblich eingeschränkt und mögliche Gefahren können erst spät gesehen werden. Dies verkürzt die zur Verfügung stehende Reaktionszeit, wenn plötzlich eine Gefahrensituation eintritt. Um im Notfall dennoch schnell genug reagieren zu können, müssen Fahrer ihre Geschwindigkeit verringern. Aus diesem Grund sollten die beiden getesteten Systeme bewirken, dass die Fahrer langsamer durch den Nebel fahren.

Fragestellung Das Ziel dieser Studie war es herauszufinden, wie Fahrer auf eine Nebelinformation reagieren, wenn sie kurz vorher über die gleiche Anzeige eine kritische Warnmeldung erhalten haben.

9.2 Methode

9.2.1 Versuchsdesign

In dieser Studie wurde der Effekt einer Nebelinformation auf das Fahrverhalten untersucht. Dazu wurde der Faktor »Nebelinformation« mit den Stufen »Ohne System«, »Warnblinken« und »Balken« im Gruppendedesign untersucht. Als abhängige Variablen wurden die Bremspedalaktivität, die Fahrgeschwindigkeit und die Bewertung der Systeme erfasst.

9.2.2 Stichprobe

Diese Studie wurde direkt im Anschluss an die vorangehende Untersuchung mit den selben 36 Probanden durchgeführt. Die Stichprobe ist daher identisch zum Versuch in Kapitel 8. Um zu verhindern, dass die Vorerfahrung mit den verschiedenen Fußgängerwarnungen sich systematisch auf die Effekte der Nebelinformation auswirkt, wurden die Gruppen aufgeteilt. Dabei wurde jeweils die Hälfte der Gruppen mit Fußgängerwarnung zufällig einer Gruppe mit Nebelinformation zugewiesen. Die Fahrer, welche im Vorversuch »Ohne Warnung« gefahren sind wurden komplett der Gruppe »Ohne System« zugeordnet. Die Probanden wurden für ihre Teilnahme im Rahmen der vorangehenden Studie vergütet (siehe Kapitel 8.2.2).

9.2.3 Material

Fahrsimulator Aufgrund der Unfallgefahr und um das Auftreten der Nebelbank genau kontrollieren zu können, wurde entschieden diese Studie im Fahrsimulator durchzuführen. Dafür wurde der bereits in Kapitel 6.2.3 beschriebene Fahrsimulator verwendet.

Versuchsstrecke In diesem Versuch fuhren die Probanden eine 6 km lange Autobahnstrecke mit leichtem Verkehr entlang. Die Strecke war so aufgebaut, dass die Probanden abhängig von der Geschwindigkeit nach etwa 2:30 min Fahrt in eine Nebelbank fuhren. Die Durchfahrt der Nebelbank dauerte circa 30 s und die Strecke endete kurze Zeit danach.

Informationssystem Die in dieser Studie verwendete Nebelinformation wurde über die in Kapitel 6.2.3 beschriebene LED-Leiste dargeboten. Sie hatte die Aufgabe, die Fahrer auf die erschwerten Sichtbedingungen im Nebel hinzuweisen und dazu zu bringen, ihre Geschwindigkeit anzupassen. Dazu wurden zwei Informationssysteme entworfen: Die Information »Warnblinken« orientierte sich am Lichtsignal eines Fahrzeugs, dessen Warnblinkanlage aktiv ist. Sie bestand

aus zwei 5 cm breiten gelben Lichtbalken, die mit einem Abstand von 31 cm zentriert vor dem Fahrer dargeboten wurden (Abbildung 9.1, links). Das System »Balken« bestand aus einem 45 cm breiten gelben Lichtbalken, der zentriert vor dem Fahrer dargeboten wurde (Abbildung 9.1, rechts). Beide Informationen wurden jeweils drei Sekunden bevor der Nebel sichtbar wurde eingeblendet. Die Information »Warnblinken« sollte darauf hinweisen, dass man sich in eine Gefahrenzone begibt. Sie war nur kurz aktiv und blinkte insgesamt drei Sekunden lang mit einer Frequenz von 2 Hz vor dem Fahrer auf. Die Information »Balken« sollte auf die bevorstehende Gefahrenzone hinweisen, aber das erhöhte Gefahrenlevel auch zurückmelden, solange man sich in der Gefahrenzone befindet. Sie war daher solange kontinuierlich aktiv, bis die Nebelbank durchfahren war. Während die Ähnlichkeit der Information »Balken« zur vorher erlebten Gefahrenwarnung groß war, unterschied sich die Anzeige »Warnblinken« sehr stark von ihr.

Die Farbe Gelb wird im Straßenverkehr oft in Situationen verwendet in denen erhöhte Aufmerksamkeit geboten ist, ohne dass eine unmittelbare Gefahr vorliegt (Ampeln, Blinker, Vorfahrtsschilder). Rot wird eher in kritischen Situationen eingesetzt (Ampel, Bremslichter, Verkehrsschildumrandungen). Da die Nebelinformation eher ein allgemeiner Warnhinweis, als eine unmittelbare Gefahrenwarnung sein sollte, wurde sie gelb dargestellt.

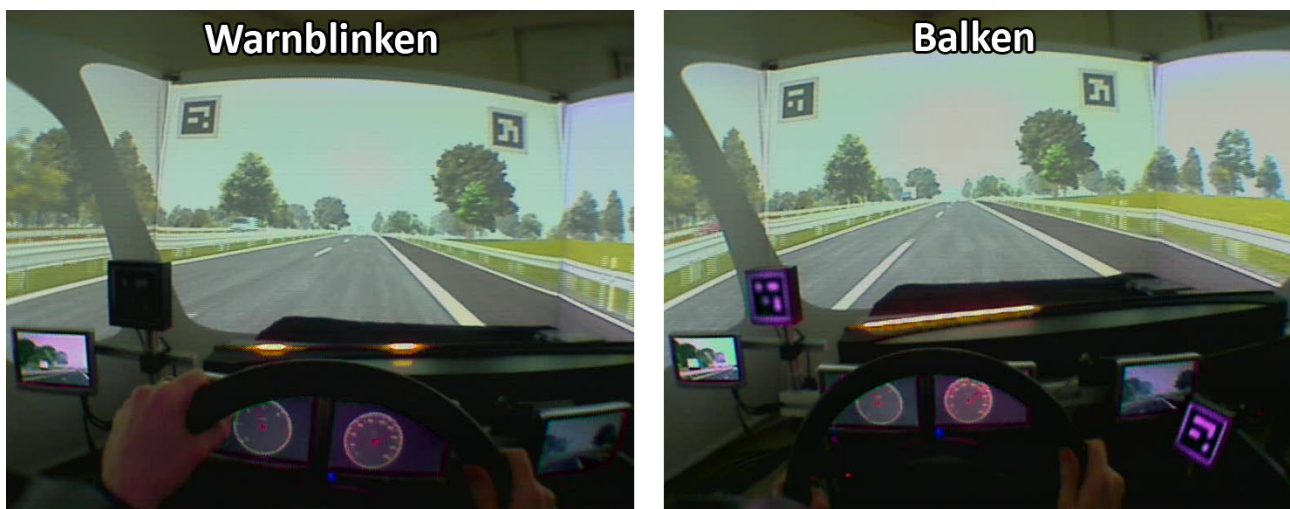


Abbildung 9.1: In diesem Versuch wurden zwei Nebelinformationen untersucht. Zwei gelb blinkende Lichter, die einem Warnblinken eines Fahrzeugs nachempfunden waren (links) und ein gelb leuchtender Balken, welcher von der Form und Größe her der im vorigen Versuch getesteten Warnung ähnelte (rechts).

9.2.4 Ablauf

Wie bereits oben erwähnt, nahmen die Probanden direkt nach dem in Kapitel 8 beschriebenen Versuch an dieser Studie teil. Das bedeutet, alle Fahrer hatten gerade ein kritisches Ereignis mit einem plötzlich auf die Straße laufenden Fußgänger erlebt. Die Probanden aus den Warnbedingungen haben außerdem eine rote Kollisionswarnung erlebt, die über die LED-Leiste dargeboten wurde. Zu Beginn wurde den Probanden mitgeteilt, dass Sie nun auf einer Autobahn fahren würden. Sie erhielten die Anweisung, wie gewohnt zu fahren und sich an die Straßenverkehrsordnung zu halten. Da die intuitive Reaktion auf das Einblenden der Nebelinformation untersucht werden sollte, wurden die Probanden hier nicht darüber aufgeklärt, dass sie eine Nebelbank durchfahren würden.

Um Ablenkungen zu vermeiden, wurden die Probanden während des Versuchs im abgedunkelten Simulatorraum alleine gelassen und die Tür für die Dauer des Versuchs geschlossen.

Während der Autobahnfahrt mussten die Probanden keine Nebenaufgabe bearbeiten. Kurz nachdem die Nebelbank durchquert war, wurde die Versuchsfahrt beendet. Die Probanden füllten einen kurzen Fragebogen aus und wurden daraufhin verabschiedet.

9.3 Ergebnisse

9.3.1 Wie reagierten die Fahrer auf die Nebelinformation?

Um zu prüfen, ob die Nebelinformationen einen Einfluss auf das Fahrverhalten der Probanden gehabt haben, wurde der Verlauf der gefahrenen Geschwindigkeit während der Durchquerung des Nebels zwischen den Gruppen miteinander verglichen.

Alle Probanden verringerten ihre Geschwindigkeit in der Nebelbank (Abbildung 9.2). Dieser Effekt ist jedoch bei den Probanden, die mit Nebelinformation gefahren sind, intensiver und setzt außerdem bereits früher ein. Es zeigte sich, dass die Probanden aus der Gruppe »Balken« ihre Geschwindigkeit kurz nach Aufleuchten der Anzeige am intensivsten verringerten und auch während der Durchfahrt des Nebels die geringste Durchschnittsgeschwindigkeit aufwiesen (Abbildung 9.2).

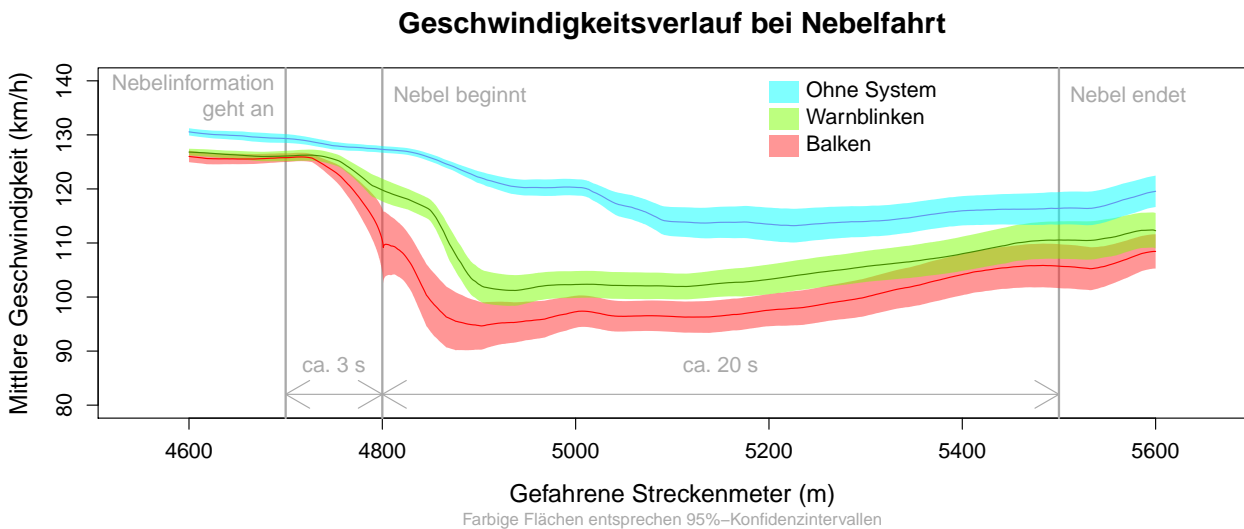


Abbildung 9.2: Verlauf der gefahrenen Geschwindigkeit während der Nebelphase aufgeteilt nach Gruppen. Alle Fahrer verlangsamten ihre Geschwindigkeit zu Beginn des Nebels, bzw. bei Einblenden der Warnung. Mit Warnsystem wurde stärker reagiert und die Fahrer mit der Anzeige »Balken« reagierten am intensivsten. Trotz anhaltendem Nebel beschleunigten alle Fahrer danach wieder gleichmäßig und näherten sich langsam ihrer vorigen Reisegeschwindigkeit an.

Eine genauere Betrachtung des Bremsverhaltens zeigt, dass die Fahrer aus der Gruppe »Balken« am intensivsten reagierten (Abbildung 9.3). Die Fahrer, die mit dem »Warnblinken« gefahren sind, bremsten nur einmal kurz nach der Information und noch einmal, als der Nebel begann (Abbildung 9.3), während die Gruppe »Ohne System« fast gar nicht bremste und sich größtenteils einfach in den Nebel hineinrollen lies.

Haben die Fahrer überreagiert? Schaut man sich die Geschwindigkeitsverläufe der einzelnen Fahrer an, zeigt sich, dass vier Fahrer ihre Geschwindigkeit plötzlich stark verringerten (Abbildung 9.4). Hier hätte es aufgrund der plötzlichen Bremsung zu Auffahrunfällen kommen können. Diese vier Fahrer stammten alle aus der Gruppe »Balken«. Ein weiterer Fahrer aus der Gruppe »Warnblinken« verringerte seine Geschwindigkeit zwar ähnlich stark, dieser bremste jedoch stufenweise und gefährdete dadurch seine Nachfolger kaum.

Verlauf Bremspedalaktivität bei Nebelfahrt

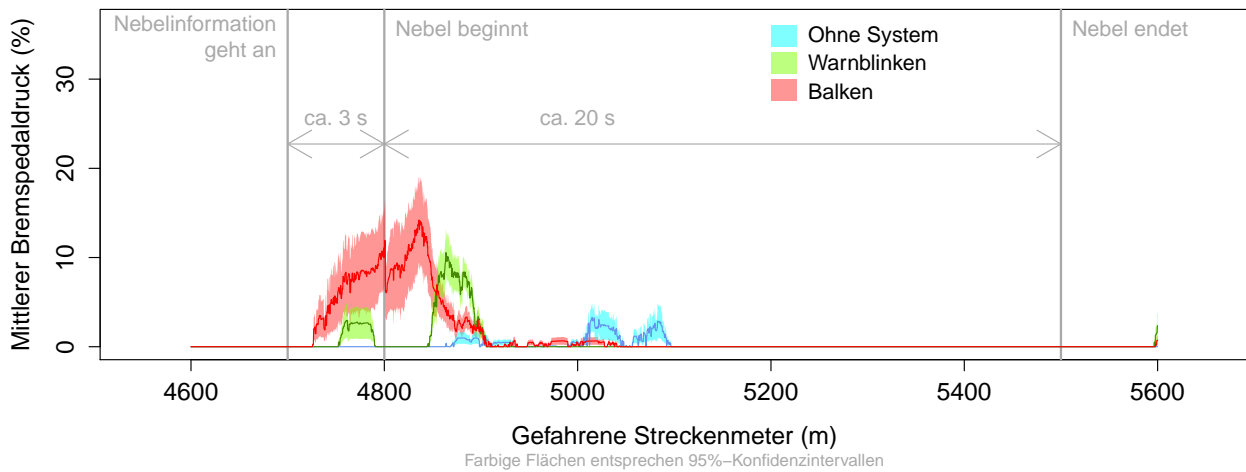


Abbildung 9.3: Verlauf der Bremspedalaktivität während der Nebelphase aufgeteilt nach Gruppen. Fahrer mit Warnsystem reagierten mit Bremsen auf die Warnung. Die Reaktion auf das System »Balken« war am intensivsten. Auch die Gruppe »Ohne System« reagierte auf die Nebelbank, jedoch nur mit leichtem Bremsen. Während Fahrer auf das System »Balken« mit gleichmäßigem starkem Bremsen reagierten, bremsten Fahrer aus der Gruppe »Warnblinken« in zwei Stufen. Einmal leicht bei Erscheinen der Warnung und etwas intensiver bei Einfahrt in den Nebel.

Geschwindigkeitsverlauf bei Nebelfahrt

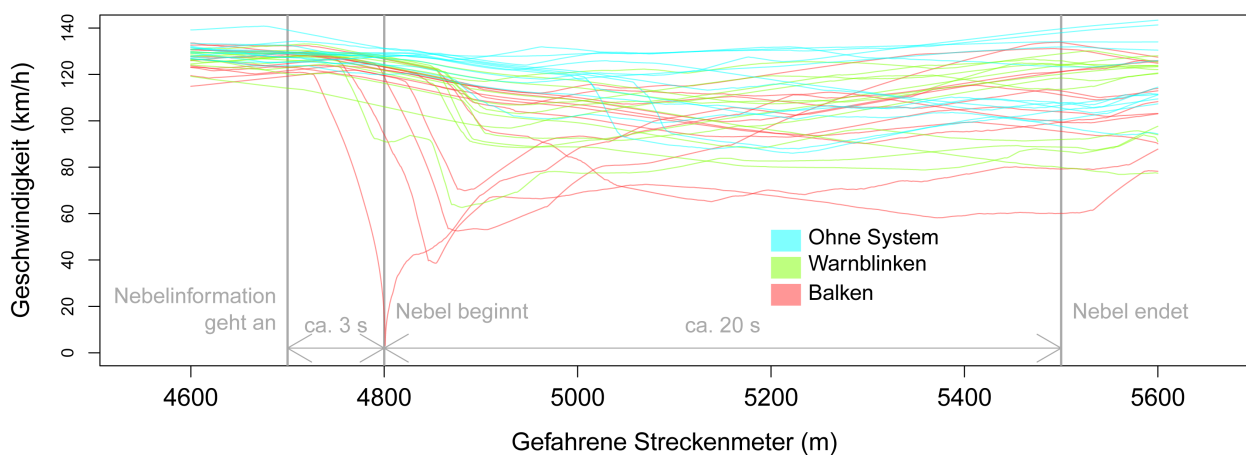


Abbildung 9.4: Verlauf der gefahrenen Geschwindigkeit einzelner Fahrer während der Nebelphase aufgeteilt nach Gruppen. Hier zeigt sich, dass einige Fahrer aus der Gruppe »Balken« ihre Geschwindigkeit nach der Warnung sehr stark verringert haben.

9.3.2 Geschwindigkeitsreduktion nur von kurzer Dauer

Aus den Geschwindigkeitsverläufen wird ersichtlich, dass die Verhaltensanpassung der Fahrer nur von kurzer Dauer war (Abbildung 9.2). Obwohl Fahrer aus den beiden Gruppen mit Anzeigen ihre Geschwindigkeit im Nebel verringerten, hielt dieser Effekt nur kurz an. Nach wenigen Sekunden nähert sich die Geschwindigkeit der Fahrer wieder der Kontrollgruppe an.

9.3.3 Welche Botschaft wurde durch die Nebelinformation vermittelt?

Obwohl die Nebelinformation unter dem Ziel gestaltet worden war, die Fahrer auf die Nebelbank hinzuweisen ohne sie zu stören, war bis zum Versuch nicht klar, ob dies auch gelungen ist. Daher wurden die Fahrer nach der Fahrt befragt, ob sie die Nebelinformation gerne abgeschaltet hätten. Aus der Gruppe »Warnblinken« bejahten dies 16 %, aus der Gruppe »Balken« 42 % der Fahrer. Die »Balken«-Information wirkte also störender auf die Probanden. In den freien Antworten der Fahrer zeigte sich, dass dies vermutlich auf die lange Darbietungszeit zurückzuführen war. Die Fahrer der »Balken«-Information wünschten sich entweder eine kürzere Warndauer oder die Möglichkeit, die Anzeige auf Knopfdruck wegschalten zu können.

9.4 Diskussion

Das Ziel dieser Studie war es, herauszufinden, wie Fahrer intuitiv auf eine unscharfe Nebelinformation reagieren, wenn sie kurz zuvor eine kritische Gefahrenwarnung über die selbe Anzeige erlebt haben.

Die beiden getesteten Systeme führten dazu, dass die Fahrer ihre Geschwindigkeit im Nebel verlangsamten und sich dadurch sicherer durch die Gefahrenzone bewegten. Die Fahrer fuhren mit Warnsystem im Mittel 10.2 km/h langsamer durch den Nebel, als ohne Information. Beide Systeme haben somit grundsätzlich ihr Ziel erreicht. Allerdings führte das System »Balken« bei einem Drittel der Fahrer zu gefährlichen Überreaktionen, welche im realen Straßenverkehr die nachfolgenden Fahrzeuge gefährdet hätten. Dies spricht dafür, dass bei Nutzung der LED-Leiste sowohl für Informations-, als auch Warnsysteme ein Reaktionsübertragung auftritt. Vermutlich haben die Fahrer den breiten Balken der Nebelinformation intuitiv mit der kurz vorher erlebten Kollisionswarnung in Verbindung gebracht und eine im Nebel verborgene Gefahrenquelle erwartet. Die Reaktion auf das Informationssystem mit hoher Ähnlichkeit zum vorher erlebten Warnsystem fiel stärker aus, als auf das mit geringer Ähnlichkeit. Dies deutet darauf hin, dass der negative Effekt durch eine unterschiedliche Gestaltung der Anzeigen verringert werden kann.

Die im Labor erzielten Ergebnisse von Möller und Frings (2010) scheinen sich somit im angewandten Fahrsimulator zu bestätigen. Interessant ist hier, dass der Effekt in umgekehrter Reihenfolge beobachtet werden konnte. Während Möller und Frings (2010) befürchteten, dass eine frühe, nicht kritische Vorstufe einer Warnung die Reaktion auf die späte Warnstufe verlangsamen würde, konnte hier ein Hinweis darauf gefunden werden, dass die Erfahrung mit einem kritischen System zu Überreaktionen in einem unkritischen System führen kann.

Dabei ist allerdings zu beachten, dass in dieser Untersuchung keine Gruppe getestet wurde, die vorher nicht die Gefahrenwarnung erlebt hat. Daher kann nicht abschließend festgestellt werden, ob die Überreaktion auf die Gestaltung der Anzeige an sich oder ihre Ähnlichkeit zum vorher erlebten System zurückgeführt werden kann.

Weiterhin ist in dieser Studie aufgefallen, dass die erreichte Geschwindigkeitsanpassung unabhängig vom erlebten System nur von kurzer Dauer war. Dies deutet darauf hin, dass die Fahrer eine bevorzugte Geschwindigkeit haben, die sie versuchen herzustellen. Zwar reagierten die Fahrer auf die Systeme, doch die spätere erneute Beschleunigung weist darauf hin, dass die

Fahrer einen unmittelbaren Grund für den Eingriff erwarten. Der Nebel an sich schien kein ausreichender Grund zu sein. Die langfristige Darbietung der Meldung zeigte dabei keinen Vorteil gegenüber einer kurzen und wurde sogar als störend empfunden.

Fazit Während eine unscharfe Nebelinformation kurzfristig eine Geschwindigkeitsreduktion bei Fahrern hervorrufen kann, führt eine zu hohe Ähnlichkeit mit einem Kollisionswarnsystem wahrscheinlich zu Überreaktionen. Zusätzliche Forschung ist notwendig, um diesen Zusammenhang klar aufzuzeigen. Doch unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Möller und Frings (2010) erscheint es sinnvoll, eine Ähnlichkeit zwischen Warn- und Informationssystemen zu vermeiden. Dabei reicht ein kurzer Hinweis aus. Eine länger andauernde Anzeige führt nicht zu einem längeren Effekt und wird sogar als störend empfunden.

10 Was warnt besser, ein weicher oder harter Warnübergang?

Zusammenfassung Während die grundlegende Funktionsweise und Wirksamkeit der Unscharfen Warnung bereits in mehreren Studien untersucht wurde, gibt es noch wenig Forschung über die optimale Gestaltung dieser Anzeige. Insbesondere die Nutzung von Animationen wurde bisher nicht gezielt untersucht. In dieser Studie wurden daher ein abrupter und ein kontinuierlicher Warnübergang anhand einer zweistufigen Gefahrenwarnung miteinander verglichen. Zusätzlich wurde die Animationsrichtung der frühen Vorwarnung vom Fahrer zur Gefahr und umgekehrt variiert, um zu prüfen, ob der Blick gelenkt oder die Reaktion verbessert werden kann. Ein kontinuierlicher Warnübergang führte zu besseren Reaktionen, obwohl er selbst keine Auskunft über die Art der erforderlichen Reaktion enthielt. Weiterhin führte die Animation von der Gefahr zum Fahrer zu langsameren Blicken in die Gefahrenrichtung.

10.1 Einleitung

Die vorigen Kapitel beschäftigten sich mit den Voraussetzungen, die für den Einsatz einer Unscharfen Warnung gegeben sein müssen, und zeigten Unterschiede zu anderen Systemen auf. Die Effektivität einer solchen Anzeige hängt jedoch sehr von der Art der Umsetzung ab. Diese Studie ging daher einen Schritt weiter und untersuchte einen Gestaltungsaspekt der Anzeige.

Ein Assistenzsystem kann erst sehr spät feststellen, ob es sich bei einem Objekt wirklich um eine Gefahrenquelle handelt, die eine Reaktion erfordert oder nicht. Warnzeitpunkte von über zwei Sekunden vor einem Unfall können somit selten erreicht werden, ohne eine hohe Anzahl an Fehlalarmen auszulösen. Diese wiederum haben das Potential vom Fahrer weniger akzeptiert zu werden.

Mehrstufige Warnungen bieten den Vorteil, dass eine frühe Warnwirkung bei geringer Aufdringlichkeit erreicht werden kann, indem man eine einfache Vorwarnung mit einer auffälligen Hauptwarnung kombiniert. Die Vorwarnung weist die Fahrer frühzeitig auf potentielle Gefahren hin, während die Hauptwarnung nur im Notfall aktiv wird. Dadurch kann der Warnhinweis prinzipiell deutlich frühzeitiger erfolgen und dem Fahrer dabei helfen eine Gefahr zu vermeiden, bevor die Situation kritisch wird. Auf diese Weise könnten gerade Verkehrsunfälle vermieden werden, in denen Fahrer einen anderen Verkehrsteilnehmer übersehen. Tatsächlich waren im Jahr 2011 Fehler beim Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren sowie Ein- und Anfahren mit 18.6 % die häufigste Unfallursache bei Unfällen mit Personenschaden, die durch ein Fehlverhalten der Fahrer verursacht wurden (Statistisches Bundesamt, 2012b). Dies sind Handlungen, die besonders an Kreuzungen in der Stadt passieren, und häufig werden Fußgänger oder Querverkehr übersehen.

Die Wirksamkeit von zweistufigen Warnungen konnte bereits gezeigt werden. So stellten Maier et al. (2011) fest, dass eine Vorwarnung per LED-Leiste den Fahrern mehr Zeit zum Reagieren auf verschiedene Gefahren verschaffte. Auch in dieser Arbeit wurde in Kapitel 8 eine Tendenz für einen positiven Effekt einer gerichteten Vorwarnung auf die Verringerung der Aufprallgeschwindigkeit bei einem plötzlich kreuzenden Fußgänger gefunden.

Da dieses Konzept jedoch noch recht neu ist, gibt es nur wenig Wissen über die optimale Gestaltung einer zweistufigen Warnung. Wie sollte der Übergang zwischen den beiden Warnstufen

gestaltet sein? Reagieren Fahrer schneller auf einen abrupten Warnübergang, der eine hohe Sali-
 lenz aufweist, oder wenn sie fließend von einer Warnstufe in die nächste geführt werden? Diese
 Fragen wurden in dieser Studie untersucht. Es wurde erwartet, dass ein abrupter Warnübergang
 auffälliger ist und daher zu schnelleren Reaktionen führen würde. Außerdem wurde versucht,
 die Blicke der Probanden durch eine Animation der Anzeige zu lenken. In Kapitel 8 wurden we-
 der eine statische gerichtete Vor- noch eine statische ungerichtete Hauptwarnung als besonders
 richtungsweisend verstanden. Dennoch beurteilten die Probanden die gerichtete Warnung als
 richtungsweisender als die ungerichtete. Dies deutet darauf hin, dass die Gestaltung eine Rolle
 für den Effekt spielt. Ein bewegtes Licht sollte den Eindruck einer richtungsweisenden Anzeige
 verstärken. Wenn es einen Effekt gibt, sollte dieser sich am besten durch zwei gegensätzliche
 Animationen zeigen lassen. Daher wurden in dieser Studie die Animationen von einer Gefahr
 zum Fahrer und vom Fahrer zur Gefahr untersucht. Es wurde erwartet, dass eine Animation den
 Blick zur Gefahr leitet, aber die andere ihn von der Gefahr wegführt. Um sowohl eine Reaktion
 hervorzurufen, als auch die Blickrichtung zu variieren, wurde ein innerstädtisches Kreuzungs-
 szenario gewählt. Die Probanden durchfuhren immer wieder eine Kreuzung und mussten auf
 Fahrzeuge reagieren, welche sich von links oder rechts nähern konnten.

Da in den vorigen Studien nur schwache Hinweise auf eine Blicklenkung gefunden wurden,
 war zu erwarten, dass mögliche Effekte auch in dieser Studie gering ausfallen würden. Um auch
 schwache Effekte zeigen zu können, wurde der Versuch auf eine Minimierung des Messfehlers
 optimiert. Die Studie wurde im Messwiederholungsdesign durchgeführt und jede Bedingung
 wurde vier mal je Proband getestet. Um die Sicherheit der Probanden zu gewährleisten und
 Umweltfaktoren der Versuchsfahrt vollständig kontrollieren zu können, wurde der Versuch im
 Fahrsimulator durchgeführt.

Fragestellung Das Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob bei einer zweistufigen Ge-
 fahrenwarnung, die auf einer LED-Leiste dargeboten wird, ein kontinuierlicher oder abrupter
 Warnübergang zu einer schnelleren Reaktion führt. Es wurde erwartet, dass auf einen abrupten
 Warnübergang schneller reagiert wird, da dieser auffälliger sein müsste. Außerdem sollte
 untersucht werden, ob eine der untersuchten Animationen den Blick effektiver zu einer Gefahr
 lenken kann als die anderen.

10.2 Methode

10.2.1 Versuchsdesign

In dieser Studie wurde ein 2x2x2 faktorielles Messwiederholungsdesign mit den Faktoren »Ani-
 mationsrichtung«, »Gefahrenrichtung« und »Warnübergang« verwendet (Tabelle 10.1). Um
 die Vorhersehbarkeit des kritischen Ereignisses gering zu halten, wurden die Gefahrenrichtung
 und das Auftreten der Gefahr variiert. Als abhängige Variablen wurden die Reaktionszeit auf
 schneidende Fahrzeuge, die Aufprallgeschwindigkeit, Anzahl von Fehlreaktionen bei Brems- und
 Gaspedalaktivität und das Blickverhalten erfasst.

		Warnübergang			
		kontinuierlich		abrupt	
	Gefahrenrichtung	rechts	links	rechts	links
Animationsrichtung	von Fahrer zur Gefahr (<->)	1	2	3	4
	von Gefahr zu Fahrer (-><-)	5	6	7	8

Tabelle 10.1: Versuchsplan schematisch. Alle Probanden wurden in jeder der acht Bedingungen getestet.

10.2.2 Stichprobe

An der Studie nahmen 30 Probanden (60 % weiblich) teil. Es handelte sich überwiegend um Studenten der TU-Braunschweig im Alter von 18 bis 58 Jahren mit einem Median von 21 Jahren. Der Median für die Dauer des Führerscheinbesitzes betrug vier Jahre. Die durchschnittliche Fahrerfahrung betrug 33 000 km. Alle Probanden verfügten über normale oder auf normales Niveau korrigierte Sicht. Die Probanden wurden für die Teilnahme wahlweise mit 1.5 VP-Stunden, welche sie für ihr Studium benötigten, oder eine Aufwandsentschädigung von 15,- Euro vergütet.

10.2.3 Material

Fahr Simulator und Blickerfassung Auch in diesem Versuch wurde der gleiche Fahr Simulator und das gleiche Blickerfassungssystem wie aus der Studie in Kapitel 6.2.3 verwendet. Die Gangschaltung wurde auf Automatik eingestellt und musste daher nicht während der Fahrt bedient werden.

Um die Blickrichtung zu erfassen, wurde das Sichtfeld der Probanden in fünf Bereiche aufgeteilt, wie in Kapitel 8 (Abbildung 8.1). Da die Blicke auf das kreuzende Fahrzeug nicht direkt erfasst werden konnten, wurden die Blicke in die entsprechende Gefahrenrichtung als Blickzuwendungen gewertet. Eine spätere Prüfung der Daten bestätigte, dass Blickzuwendungen in die Bereiche »Rechts« und »Links« im für die Auswertung betrachteten Zeitraum tatsächlich dem sich nähernden Fahrzeug zugeordnet werden konnten. Für die Auswertung wurden die Blickzuwendungen in die Bereiche Blicke zur »Gefahr« (Seite von der sich das kreuzende Fahrzeug näherte) und »Nicht Gefahr« (die andere Seite) anhand der Annäherungsrichtung und der absoluten Blicke nach »Rechts« und »Links« berechnet und in der weiteren Auswertung verwendet.

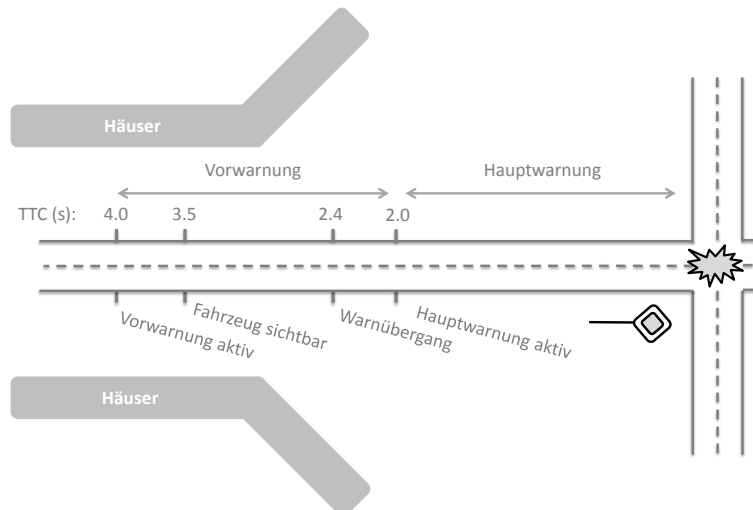


Abbildung 10.1: Ein Kreuzungsabschnitt wurde von den Probanden mehrmals durchfahren. Die Fahrer näherten sich von links mit 60 km/h der Kreuzung und überquerten diese.

Gefahrenszenario Als Gefahrenszenario wurde eine Kreuzungssituation gewählt, welche die Fahrer wiederholt durchfahren mussten (Abbildung 10.1). Dabei hatten die Fahrer zwar jedes Mal Vorfahrt, jedoch konnte an der Kreuzung ein anderes Fahrzeug unrechtmäßig ihren Weg schneiden. Die Strecke war so gestaltet, dass es hier in jedem Fall zu einem Unfall kam, wenn die Fahrer nicht durch Bremsen auf das schneidende Fahrzeug reagierten. Um das Timing der einzelnen Ereignisse gleich zu halten, wurde das maximale Tempo der Probanden auf 60 km/h

begrenzt. Sie erhielten die Anweisung, das Gaspedal während der Fahrt komplett durchzutreten und nur zu bremsen, wenn sie sich sicher waren, dass das andere Fahrzeug sie schneiden würde. Die Kreuzung war weiterhin so aufgebaut, dass das andere Fahrzeug erst bei einer TTC von 3,5 s sichtbar war und ab einer TTC von 2 s ersichtlich wurde, ob es noch rechtzeitig anhalten oder schneiden würde (Abbildung 10.1).

Um die Vorhersehbarkeit der Gefahrensituation zu verringern, wurden fünf mögliche Ereignisse in zufälliger Reihenfolge variiert. Das Fahrzeug schnitt in $\frac{2}{5}$ der Fälle und blieb genau so häufig rechtzeitig stehen. In $\frac{1}{5}$ der Fälle gab es kein Fahrzeug. Wenn ein Fahrzeug schnitt, konnte es sich außerdem entweder von links oder von rechts nähern. Dabei war der Anfahrtsweg jedes mal identisch. Alle Kreuzungen waren gleich aufgebaut.

Warnung Die Warnung wurde über eine LED-Leiste eingeblendet, welche bereits in Kapitel 6.2.3 beschrieben wurde. Sie war vor den Fahrern auf Höhe der unteren Kante der imaginären Frontscheibe positioniert. Die Leiste hatte eine Länge von 120 cm und war leicht gekrümmt, um die Form einer Frontscheibenwurzel nachzubilden. Allerdings wurde in dieser Studie nicht die gesamte Leistenbreite für die Warnung verwendet. Es wurde ein prototypisches Warnsystem entworfen, das die Fahrer in zwei Warnstufen auf mögliche Kollisionen hinwies. Dieses bestand aus einer Vorwarnung, welche in Form eines 15 cm breiten roten Lichtbalkens auf die Richtung einer möglichen Gefahrenquelle hinwies und einer Hauptwarnung in Form eines 60 cm breiten roten Lichtbalkens, der mit 4 Hz blinkte (Abbildung 10.2). Die Vorwarnung wurde jeweils bei einer TTC von 4 s eingeblendet, die Hauptwarnung bei einer TTC von 2 s. Das Timing wurde so gewählt, dass die Vorwarnung eine halbe Sekunde vor dem schneidenden Fahrzeug sichtbar wurde und die Hauptwarnung so, dass die Fahrer gerade noch einen Unfall vermeiden konnten, wenn sie sofort auf die Hauptwarnung reagierten. Es gab keine Fehlauslösungen des Systems und die Probanden wurden darüber informiert, dass es zu 100 % zuverlässig arbeiten würde.

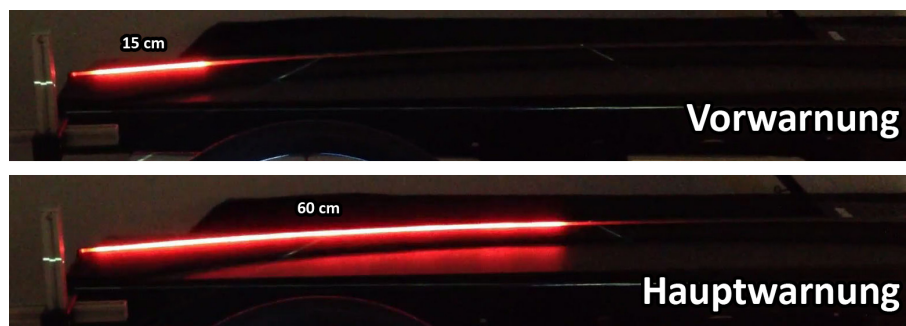


Abbildung 10.2: LED-Leiste mit aktiver Vorwarnung bei Gefahr von links (oben) und mit aktiver Hauptwarnung (unten). Beide Warnungen waren animiert.

Die Warnbedingungen Um die Faktoren Warnübergang und Animationsrichtung untersuchen zu können, wurden vier Versionen des Warnsystems entworfen. Es gab jeweils ein System für alle möglichen Kombinationen der Faktorstufen. Sowohl »Animationsrichtung« als auch »Warnübergang« variierten innerhalb der Vorwarnung.

Bei einer Animation vom Fahrer zur Gefahr ($\leftarrow\rightarrow$) setzte der kleine rote Lichtbalken zentriert vor dem Fahrer ein und bewegte sich in einer fließenden Bewegung innerhalb von 0,2 s über 30 cm in die Gefahrenrichtung und blieb dort stehen. Bei einer Animation von der Gefahr zum Fahrer ($\rightarrow\leftarrow$) setzte der Lichtbalken jeweils 30 cm links oder rechts vor dem Fahrer ein und bewegte sich innerhalb von 0,2 s über 30 cm und blieb mittig vor den Fahrer stehen.

Es gab nun verschiedene Möglichkeiten, die Zeitpunkte für den Übergang zwischen Vor- und Hauptwarnung festzulegen. Während der abrupte Warnübergang nur über einen einzigen Zeitpunkt definiert ist, wird der kontinuierliche Warnübergang über zwei Zeitpunkte beschrieben: Animationsbeginn und -ende. Wie sollte das relative Timing beider Warnungen zueinander gestaltet werden? Der Zeitpunkt der Hauptwarnung war durch praktische Überlegungen festgelegt. Sie sollte erfolgen, wenn mit hoher Sicherheit gesagt werden konnte, dass es zu einem Crash kommen würde. Ein späterer Warnzeitpunkt war nicht sinnvoll, da eine spätere Reaktion den Unfall nicht mehr hätte verhindern können. Eine frühere Hauptwarnung war auch nicht angemessen, da es unrealistisch gewesen wäre einen Unfall bereits so früh sicher vorherzusagen. Ein so gestaltete Warnung würde häufig Fehlalarme produzieren. Es wurde daher entschieden die Hauptwarnung auf $TTC = 2\text{ s}$ festzulegen.

Für die Animation des Warnübergangs gab es nun auch zwei Möglichkeiten: Möglichkeit 1 war den Beginn der Animation des kontinuierlichen Übergangs mit dem Beginn der Hauptwarnung gleich zu setzen. Dadurch würde allerdings zum Einen die Dauer der Hauptwarnung verkürzt und zum Anderen die maximale Intensität der Warnung verringert. Im Hinblick darauf, dass die 2 s vor dem Unfall die letzte Eingriffsmöglichkeit zum Verhindern eines Unfalls darstellten, wurde diese Möglichkeit als nicht vertretbar angesehen. Möglichkeit 2 war das Ende der Animation des kontinuierlichen Warnübergangs mit dem Beginn der Hauptwarnung gleich zu setzen. Ein Fehlalarm des Warnübergangs ist nicht so gravierend, da dieser nicht so auffällig ist wie die Hauptwarnung. Daher wurde entschieden, den kontinuierlichen Warnübergang 0.4 s vor der Hauptwarnung bei einer TTC von 2.4 s beginnen zu lassen (Abbildung 10.3).

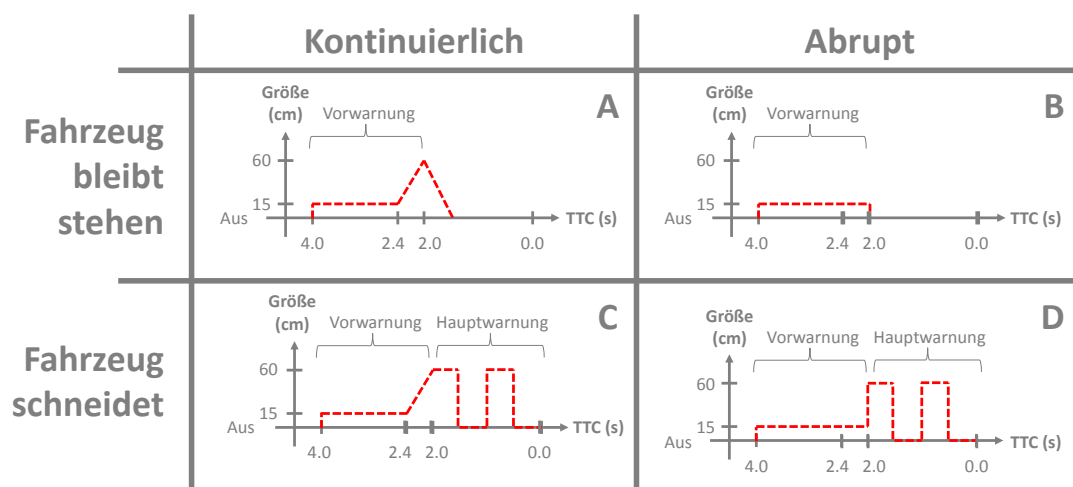


Abbildung 10.3: Zeitlicher Ablauf der verwendeten Warnungen in Hinsicht auf die Größe der Anzeige. Der kontinuierliche Warnübergang (C) tritt zwar früher ein, als der abrupte (D), enthält aber keine Information darüber, ob das kreuzende Fahrzeug schneidet oder nicht (A,C). Auf die exakte Darstellung der Blinkfrequenz der Hauptwarnung wurde zugunsten der Lesbarkeit verzichtet.

Aufgrund dieser Entscheidung setzte bei kontinuierlichem Warnübergang die Veränderung 0.4 s früher ein, als bei abruptem Warnübergang. Um diesen Vorteil der einen Bedingung zu neutralisieren, wurde der kontinuierliche Warnübergang unabhängig von der vorliegenden Gefahr ausgelöst und die Animation trat unabhängig davon ein, ob die Fahrer reagieren mussten oder nicht. Da es Durchgänge gab, in denen das kreuzende Fahrzeug rechtzeitig anhielt, und welche, in denen es die Fahrer schnitt, konnten die Probanden anhand des Warnübergangs nicht darauf schließen, ob sie reagieren mussten oder nicht. Nur die Hauptwarnung lieferte diese Information. Für den Warnübergang gab es vier mögliche Abläufe:

- Fahrzeug bleibt stehen, Warnübergang »kontinuierlich«: Der Lichtbalken wächst zunächst an, schrumpft danach jedoch wieder bis er verschwindet (Abbildung 10.3, A).
- Fahrzeug bleibt stehen, Warnübergang »abrupt«: Der Lichtbalken wächst nicht an und erlischt wieder nach kurzer Zeit (Abbildung 10.3, B).
- Fahrzeug schneidet, Warnübergang »kontinuierlich«: Der Lichtbalken wächst an und geht in die blinkende Hauptwarnung über (Abbildung 10.3, C).
- Fahrzeug schneidet, Warnübergang »abrupt«: Der Lichtbalken wächst nicht und geht direkt in die blinkende Hauptwarnung über (Abbildung 10.3, D).

10.2.4 Ablauf

Alle Probanden stimmten der anonymen Verarbeitung der im Versuch erhobenen Daten zu und ihr Führerscheinbesitz wurde kontrolliert. Ihnen wurde daraufhin der Fahrsimulator gezeigt und die Benutzung erklärt. Die Probanden stellten sich den Fahrersitz so ein, dass sie gut auf die virtuelle Straße sehen konnten und die LED-Leiste nicht durch das Lenkrad verdeckt wurde. Daraufhin wurden die demographischen Daten durch einen Fragebogen per Touchscreen erhoben. Der Touchscreen war neben den Fahrern auf dem Beifahrersitz montiert. Um Einflüsse des Versuchsleiters in der Formulierung zu vermeiden, wurde die Fahraufgabe den Probanden schriftlich gegeben. Die Probanden wurden darüber informiert, dass sie den Versuch jederzeit bei Anzeichen von Unwohlsein oder Übelkeit abbrechen können. Um die Probanden an die Fahrsituation zu gewöhnen, folgte ein Training auf einer Teststrecke. Diese entsprach vom Aufbau der späteren Versuchsstrecke, die Probanden fuhren hier jedoch ohne Gefahrenwarnung. Während des Trainings hatten die Probanden die Aufgabe, jeweils einzuschätzen, ob ein Fahrzeug sie schneiden würde oder nicht. Das Training dauerte so lange, bis fünf Situationen in Folge korrekt eingeschätzt wurden und sich die Reaktionszeit bei fünf kritischen Ereignissen in Folge nicht weiter verbesserte. In Vorversuchen zeigte sich, dass bei diesem Kriterium kaum noch Lerneffekte auftraten. Nach dem Training wurde den Probanden die Blickerfassungsbrille aufgesetzt und kalibriert. Daraufhin wurde das erste System im Stand demonstriert und es folgte die Versuchsfahrt. Um Störeinflüsse zu vermeiden, wurden die Probanden für die Datenerhebung im Versuchsraum alleine gelassen und die Tür geschlossen. Der Raum war bis auf die Lichtquellen der Simulationsumgebung abgedunkelt. Eine Versuchsfahrt dauerte ca. 5 min.

Nachdem die erste Bedingung absolviert war, wurde das nächste System im Stand demonstriert und der Proband für die Datenerhebung wieder allein gelassen. Insgesamt fuhren die Probanden fünf Bedingungen, vier mal mit System und einmal ohne. Um Positionseffekte zu kontrollieren, wurden die Reihenfolgen der Bedingungen nach der Methode des Lateinischen Quadrats ermittelt und zufällig den Probanden zugewiesen. Innerhalb einer Bedingung durchfuhren die Probanden fünf Typen von Ereignissen, in denen das Verhalten des Fahrzeugs (ohne, hält, schneidet) und die Gefahrenrichtung (links, rechts) variiert wurde. Jeder Ereignistyp wurde vier mal getestet. Die Probanden durchfuhren somit insgesamt 20 Ereignisse je Bedingung. Der Gesamtversuch dauerte ca. 1.5 Stunden.

10.3 Ergebnisse

10.3.1 Datenaufbereitung

Von den 30 getesteten Probanden wurden zwei für die Auswertung der Blickdaten ausgeschlossen. Bei einem der Probanden gingen aufgrund eines technischen Fehlers die Blickdaten verloren.

Ein anderer Proband schaute während der Versuchsfahrten die gesamte Zeit geradeaus. Aufgrund der fehlenden Varianz in den Blickbewegungen war eine Auswertung hier nicht sinnvoll. Um den Messfehler zu verringern, wurden alle Reaktionszeiten je Proband und Bedingung vier mal erhoben und die Mittelwerte für die Auswertung verwendet. Alle Effekte werden ab $p < .05$ als signifikant berichtet. Da bei Messwiederholungsdesigns die Varianz zwischen den Probanden ignoriert werden kann (Loftus & Masson, 1994), werden in allen Plots Fehlerbalken für Messwiederholungsdesigns korrigiert dargestellt. Um die Reaktionen auf die kritischen Ereignisse zwischen den Warnbedingungen zu vergleichen, werden nur die Ereignisse betrachtet, in denen es zu einer Warnung kam. Dies schließt die Ereignisse, bei denen das kreuzende Fahrzeug hielt, in denen es kein Fahrzeug gab und Durchgänge ohne Warnsystem aus. Bei allen Auswertungen, bei denen es angemessen war, wurde die Voraussetzung der Normalverteilung der Daten mit dem Kolmogorov-Smirnov Test überprüft. Im Folgenden wird nur noch berichtet, ob es Hinweise auf Verletzung der Annahme gab.

10.3.2 Reagieren Fahrer schneller auf einen weichen oder harten Warnübergang?

Die Hauptfrage der Untersuchung war, ob mit einem »kontinuierlichem« oder »abruptem« Warnübergang zwischen den beiden Warnstufen schneller auf die Gefahr reagiert werden konnte. Neben Haupteffekten interessierte auch, ob es Interaktionen mit der Gefahrenrichtung oder der Animationsrichtung gab. Daher wurden die mittleren Reaktionszeiten und Aufprallgeschwindigkeiten auf das schneidende Fahrzeug mit einer dreifaktoriellen Varianzanalyse für Messwiederholungen ausgewertet. Als Faktoren wurden »Warnübergang«, »Animationsrichtung« und »Gefahrenrichtung« betrachtet (Tabelle 10.1). Die Reaktionszeit berechnete sich aus der Differenz des Zeitpunkts, an dem die Absicht des herannahenden Fahrzeugs erkannt werden konnte ($TTC = 2$ s), bis zum Zeitpunkt, an dem die Bremse betätigt wurde oder die Gefahr vorüber war ($TTC = 0$ s). Es gab in der Reaktionszeit einen signifikanten Haupteffekt für den Warnübergang $F(1,29)=17.68$. Auf einen »kontinuierlichen« Übergang wurde signifikant schneller reagiert, als auf einen »abrupten« Übergang $p < .001$, $r = .62$ (Abbildung 10.4). Es gab ansonsten weder signifikante Haupt- noch Interaktionseffekte in der Reaktionszeit.

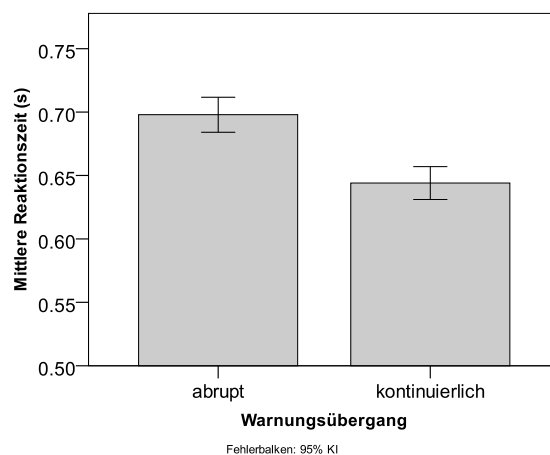


Abbildung 10.4: Mittlere Reaktionszeiten auf schneidendes Fahrzeug in Sekunden, aufgeteilt nach Warnübergang. Mit kontinuierlichem Warnübergang wurde schneller reagiert.

Dieses unerwartete Ergebnis wirft die Frage auf, ob die Probanden bei dem »kontinuierlichem« Warnübergang einfach bereits auf die Animation reagiert haben, unabhängig davon, dass diese nicht über das Verhalten des kreuzenden Fahrzeugs informierte. Ob dies der Fall war, ließ sich anhand der Fehlbremungen (Fahrer bremst, obwohl kreuzendes Fahrzeug nicht

schneidet) feststellen. Wenn die Fahrer entgegen ihrer Anweisung einfach blind auf das Wachsen reagiert haben, sollten die Probanden mit »kontinuierlichem« Warnübergang mehr Fehlbremungen aufweisen als die mit »abruptem« Warnübergang. Dies ist für Bremsreaktionen nicht der Fall (Abbildung 10.5). Wenn man sich allerdings anschaut, wie häufig die Probanden vom Gas gegangen sind, obwohl das kreuzende Fahrzeug rechtzeitig hielt und sie letztendlich nicht reagieren mussten, zeigte sich eine Tendenz dazu, dass die Fahrer unter dem »kontinuierlichem« Warnübergang häufiger zu früh vom Gas gegangen sind (Abbildung 10.6).

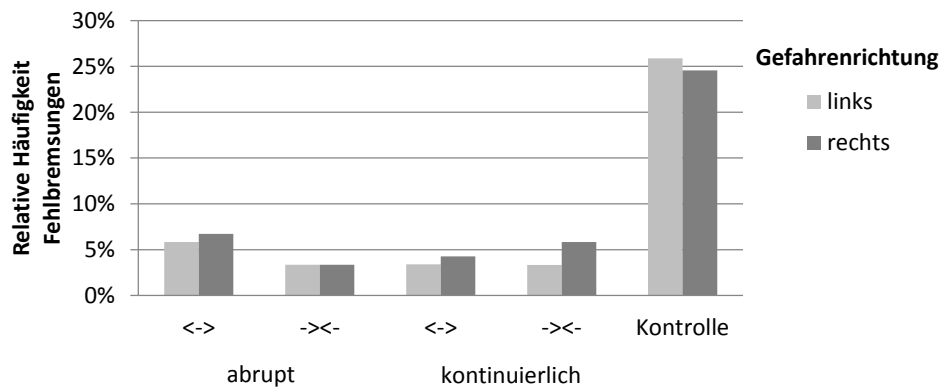


Abbildung 10.5: Fehlbremungen auf ein sich näherndes Fahrzeug, dass rechtzeitig hielt. Aufgeteilt nach »Warnübergang«, »Animations-« und »Gefahrenrichtung«. Animation vom Fahrer zur Gefahr: <->, Animation von der Gefahr zum Fahrer: -><-. In allen Warngruppen war die Anzahl in etwa gleich.

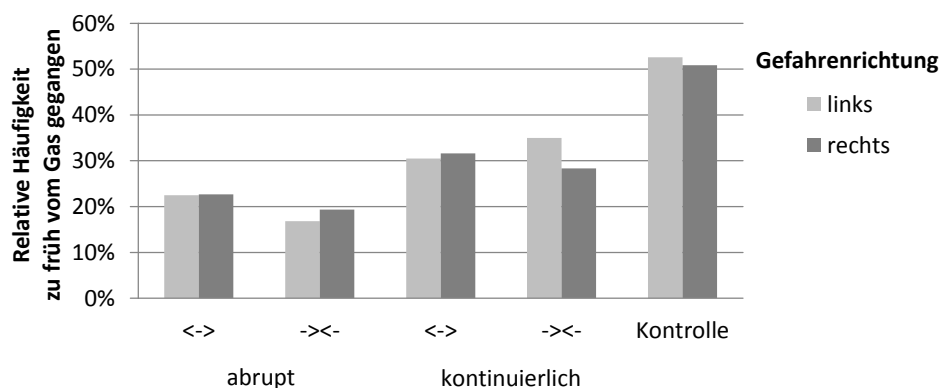


Abbildung 10.6: Ereignisse, bei denen vom Gas gegangen wurde, obwohl das sich nähernde Fahrzeug rechtzeitig hielt. Aufgeteilt nach »Warnübergang«, »Animations-« und »Gefahrenrichtung«. Animation vom Fahrer zur Gefahr: <->, Animation von der Gefahr zum Fahrer: -><-. Mit kontinuierlicher Warnung wurde etwas häufiger vom Gas gegangen, obwohl es nicht notwendig war. Ohne Unterstützung durch ein Warnsystem geschah dies am häufigsten.

Die bessere Reaktion der Probanden bei »kontinuierlichem« Warnübergang zeigte sich auch in der Aufprallgeschwindigkeit $F(1,29)=6.94$. Ein »kontinuierlicher« Warnübergang ging mit einer signifikant niedrigeren Aufprallgeschwindigkeit einher $p = .013$, $r = .44$ (Abbildung 10.7). Auch für die Aufprallgeschwindigkeit gab es sonst keine signifikanten Interaktions- oder Haupteffekte.

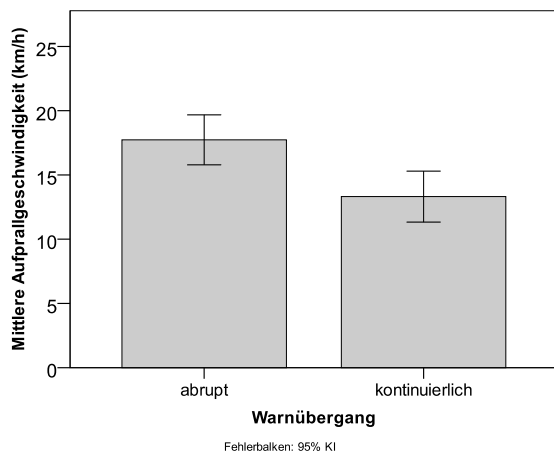


Abbildung 10.7: Mittlere Aufprallgeschwindigkeiten aufgeteilt nach »Warnübergang«. Vermiedene Kollisionen gingen als »0« mit in die Auswertung ein. Mit kontinuierlichem Warnübergang war die Aufprallgeschwindigkeit im Schnitt geringer.

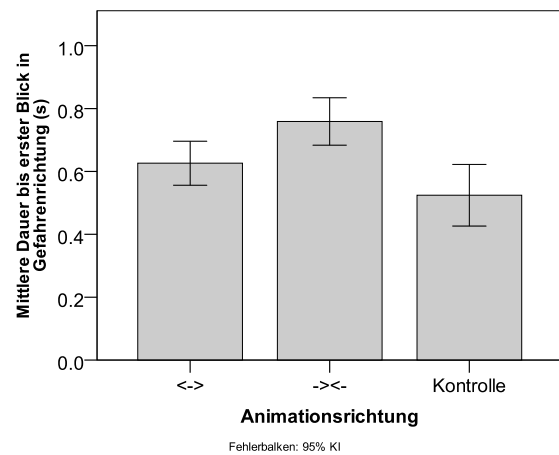


Abbildung 10.8: Mittlere Dauer bis erster Blick zur »Gefahrenrichtung« erfolgte aufgeteilt nach »Animationsrichtung«. Die Blickzuwendung bei Animation von der Gefahr zu Fahrer war etwas langsamer, als bei Animation vom Fahrer zu Gefahr oder in der Kontrollbedingung.

10.3.3 Wohin schauten die Fahrer während der Warnung?

Für die Auswertung der Blickdaten wurden nur die Intervalle der Kreuzungsereignisse betrachtet, in denen ein Fremdfahrzeug beteiligt war. Dies wurde getan, damit wirklich nur Daten in die Auswertung eingingen, in denen die Warnung aktiv war. Der betrachtete Zeitraum begann mit dem Moment, in dem die Warnung aktiv wurde ($TTC = 4$ s), und endete mit dem Zeitpunkt, an dem der mögliche Unfallort passiert wurde ($TTC = 0$).

Um die Blickbewegungen der Probanden nachvollziehen zu können, wurden Blickverlaufsplots für alle Bedingungen erstellt. Auf diesen Plots ist die Blickverteilung über alle Probanden gemittelt über die Zeit abgetragen. Je mehr Probanden zu einem Zeitpunkt zu einem Ort geschaut haben, desto röter wird der Abschnitt dargestellt. Auf der X-Achse wird die Zeit als Sekundenabstand zum möglichen Unfall angegeben. Die für diesen Versuch relevanten Zeitpunkte der »Vorwarnung«, »Hauptwarnung« und des »Unfalls« sind zusätzlich auf den X-Achsen markiert.

Ein erster Blick auf die Blickverläufe zeigt, dass bei Systemen mit »abruptem« Warnübergang und bei der Animation »vom Fahrer zur Gefahr« (<->) mehr Probanden zur Gefahr schauten, als in der jeweils anderen Bedingung. Dies kann anhand einer intensiveren rötlichen Färbung auf den Bereich »Gefahr« ungefähr bei $TTC = 3$ s gesehen werden (Abbildung 10.9). Eine entsprechende intensivere blaue Färbung zum selben Zeitpunkt im Bereich »Straße« deutet darauf hin, dass die häufigeren Blicke zur Gefahr von der Straße abgewendet wurden (Abbildung 10.9).

Um zu prüfen, ob einer der Animationsrichtungen den Blick zur Gefahr lenken konnte, wurde betrachtet, wie viel Zeit zwischen Aktivierung der Warnung und dem ersten Blick in die Gefahrenrichtung verging. Um sowohl Haupt-, als auch Interaktionseffekte von »Warnübergang«, »Animations-« und »Gefahrenrichtung« feststellen zu können, wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse für Messwiederholungsdesigns gerechnet. Es gab einen signifikanten Haupteffekt der »Animationsrichtung« $F(1,27)=11.74$. Die Fahrer schauten bei einer Animation »von der Gefahr zum Fahrer« langsamer in die Gefahrenrichtung, als bei einer Animation »vom Fahrer zur Gefahr« $p = .002$, $r = .55$. (Abbildung 10.8). Weiterhin gab es einen signifikanten Haupteffekt für die »Gefahrenrichtung« $F(1,27)=7.99$. Wenn das Fahrzeug von rechts schnitt, schauten die Fahrer schneller in die »Gefahrenrichtung«, als wenn es von links schnitt $p = .009$, $r = .48$. Es gab keine weiteren signifikanten Interaktions- oder Haupteffekte für die Blickreaktionszeit.

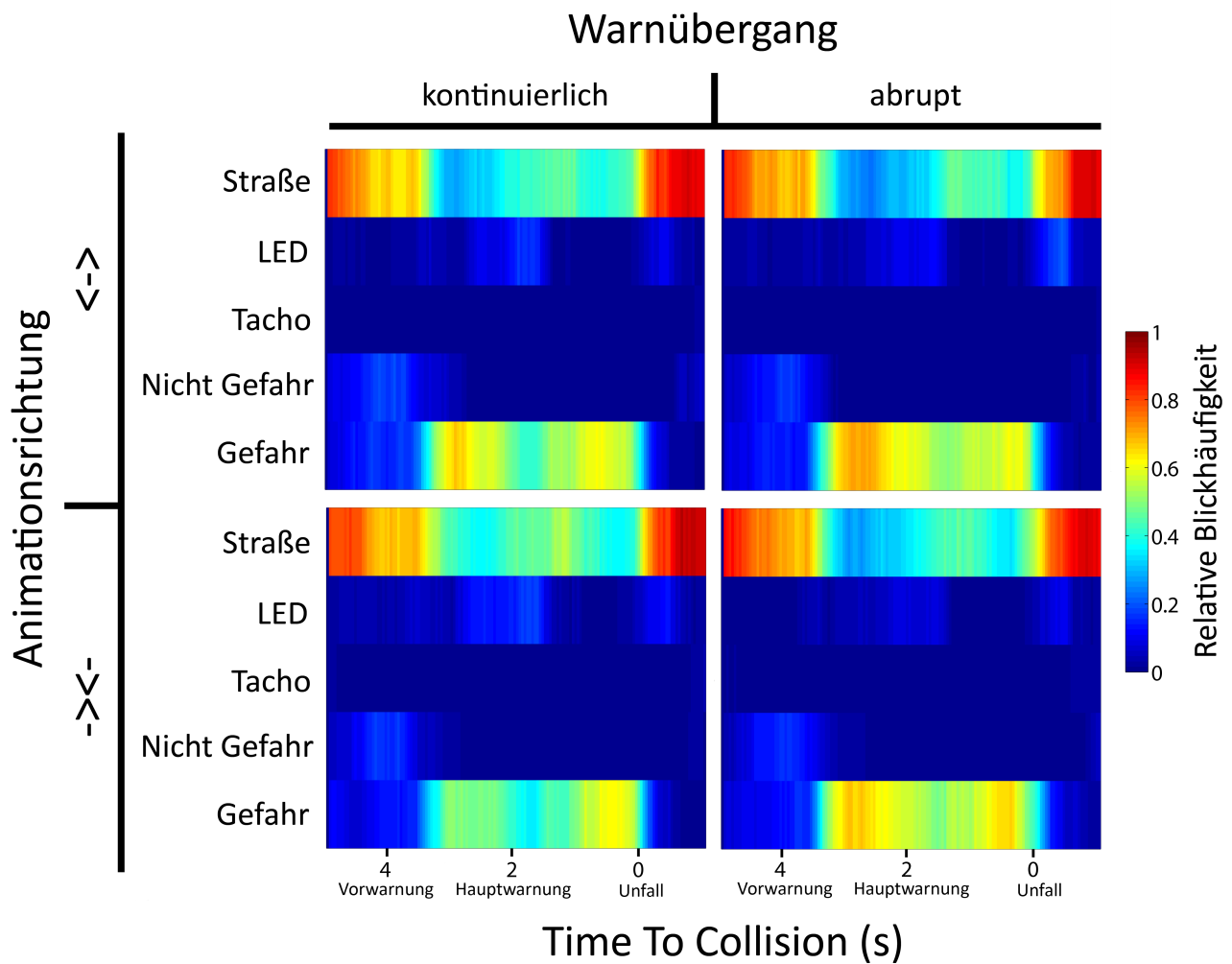


Abbildung 10.9: Übersicht der Blickverläufe für alle Warnbedingungen für den Warnzeitraum bei schneidendem Fahrzeug. Der Zeitpunkt, welcher als »Unfall« markiert ist, zeigt an, wann die Kreuzung auf Höhe des Fahrzeugs passiert wurde. Wenn nicht rechtzeitig gebremst wurde, geschah hier der Unfall. Die relative Blickverteilung aller Probanden auf fünf Bereiche ist abgetragen. Die Bereiche Straße, LED-Leiste (LED) und Tacho waren fest zugeordnet. Die Blickzuwendungen hin zur Gefahr (Gefahr) oder in die der Gefahr entgegengesetzte Richtung (Nicht Gefahr) wurden anhand der Blicke nach rechts oder links und der jeweiligen Annäherungsrichtung des schneidenden Fahrzeugs ermittelt.

10.4 Diskussion

In dieser Studie wurde die Auswirkung von verschiedenen Gestaltungsvarianten einer zweistufigen Warnung auf die Bremsreaktion und das Blickverhalten untersucht. Dazu wurden gezielt die »Animationsrichtung« einer Vorwarnung und der »Warnübergang« zwischen beiden Warnstufen variiert.

Ein kontinuierlicher Warnübergang beschleunigt die Reaktion Entgegen der Erwartung haben die Probanden auf einen »kontinuierlichen« Warnübergang schneller reagiert, als auf einen »abrupten«. Da das Anwachsen bei »kontinuierlichem« »Warnübergang« schon vor dem harten Wechsel mit »abruptem« »Warnübergang« zu sehen war, ist dies nicht grundsätzlich verwunderlich. Allerdings enthielt dieser schon früher sichtbare »Warnübergang« keine Information über die bevorstehende Reaktion. Das bedeutet, die Probanden durften nicht einfach schon auf das Anwachsen reagieren, sondern mussten warten bis die Hauptwarnung sichtbar wurde, um eine Fehlreaktion zu vermeiden. Tatsächlich gelang dies den meisten Probanden, aber es zeigte sich dass sie mit »kontinuierlichem« »Warnübergang« früher vom Gas gingen. Dabei fällt auf, dass das alleinige Aufleuchten der Vorwarnung nicht zu diesem Effekt führte. Dies deutet darauf hin, dass unabhängig vom Informationsgehalt der Warnung durch das Anwachsen des Lichtbalkens eine Aktivierung der Probanden stattfand und sie sich auf die Bremsreaktion vorbereiteten. Dieses Maß an Aktivierung konnte nicht durch die alleinige Präsentation der Vorwarnung hervorgerufen werden. Dieser Effekt könnte in der Praxis genutzt werden, um Fahrer frühzeitig auf eine Reaktion vorzubereiten. Ein fließender Übergang zwischen dezentem Hinweis und auffälliger Warnung ist somit ein vielversprechender Ansatz, um einen Kompromiss zwischen frühzeitiger Aktivierung des Fahrers und geringer Aufdringlichkeit herzustellen. Auf diese Weise sollte sich die Reaktion gegenüber einem einstufigen Warnsystem oder einem zweistufigen Warnsystem mit abruptem Warnübergang beschleunigen lassen ohne die Akzeptanz des Systems zu sehr zu beeinträchtigen. Allerdings wurde in dieser Studie nicht untersucht, ob eine wachsende Animation tatsächlich als weniger aufdringlich empfunden wird, als eine blinkende Anzeige der finalen Größe. Dies müsste noch gezeigt werden und zukünftige Studien könnten diesen Zusammenhang testen.

Nachteil einer Animation von der Gefahr zum Fahrer In dieser Studie konnte das Blickverhalten der Fahrer tatsächlich beeinflusst werden. Allerdings nicht in der erwarteten Weise. Während kein Vorteil durch eine Animation erreicht werden konnte, zeigte sich ein nachteiliger Effekt der Animation »von der Gefahr zum Fahrer«. Sie beeinträchtigte die Blicksprünge in die Gefahrenrichtung. Anscheinend hat diese Animation die Fahrer verwirrt und ihren Blick auf der Straße festgehalten. Bei der Gestaltung von animierten unscharfen Richtungshinweisen sollte dieser negative Effekt vermieden werden.

Fazit In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass ein weicher Warnübergang bei einer zweistufigen Unscharfen Gefahrenwarnung einen vielversprechenden Ansatz darstellt, um Fahrer frühzeitig auf eine Reaktion vorzubereiten. Eine Animation »von der Gefahr zum Fahrer« sollte hingegen vermieden werden.

11 Abschließende Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es zu beurteilen, ob sich eine Unscharfe Warnung als Anzeige für FAS eignet. Dies geschah im Rahmen von sieben Studien, in denen verschiedene für die Eignung relevante Aspekte geprüft wurden. Vor der Arbeit gab es nur wenige Untersuchungen zur Wirkung einer Unscharfen Warnung im Kraftfahrzeug. Zwar haben bereits einige Autoren die Wirkung konkreter unscharfer Assistenzfunktionen in verschiedenen Anwendungsfällen erforscht (Mahlke et al., 2007; Fricke, 2009; Maier et al., 2011), aber die Erkenntnisse wurden anhand von sehr unterschiedlichen Konzepten in sehr spezifischen Szenarien gewonnen. Übergreifende Zusammenhänge und insbesondere der Einfluss einzelner Gestaltungsaspekte lassen sich aufgrund der Vielfältigkeit in den verwendeten Methoden und Systemen nur schwer bestimmen. Darüber hinaus wurden bisher grundlegende Voraussetzungen, wie der Nachweis über eine ausreichend gute Sichtbarkeit peripherer Lichtsignale am Einsatzort und dem Verständnis dieser Art von Warnungen, nicht geprüft. Insgesamt fehlte eine ganzheitliche Betrachtung des Warnkonzeptes, welche die beteiligten menschlichen Verarbeitungsprozesse darstellt, die bisherigen Erkenntnisse zusammenfasst, die Voraussetzungen für den Einsatz prüft und systematisch die Wirkung einzelner Gestaltungsaspekte erforscht.

Die vorliegende Arbeit setzt hier an, indem sie das Konzept zunächst auf einer sehr grundlegenden Ebene untersucht und sich dann Stück für Stück konkreten Anwendungsszenarien nähert. Auf diese Weise konnte mit der vorliegenden Arbeit ein umfassendes Profil über die Wirkung einer Unscharfen Warnung erstellt werden.

Wird die Unscharfe Warnung peripher gesehen und verstanden? Im ersten Teil der Arbeit konnte gezeigt werden, dass die grundsätzlichen Voraussetzungen für den Einsatz einer Unscharfen Warnung im Automobil erfüllt werden. Zum einen sind periphere Lichtsignale im Bereich der Frontscheibenwurzel von Menschen verschiedener Körpergröße gut sichtbar (Kapitel 4) und zum anderen werden verschiedene Funktionen der Anzeige intuitiv von den Fahrern verstanden, obwohl keine semantischen Hinweise, wie Symbole oder Schriftzeichen, verwendet werden (Kapitel 5). Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass eine beispielhafte Unscharfe Warnung tatsächlich weniger angeschaut wurde, als ein klassisches Warnsystem (Kapitel 6) und zu vergleichbaren, bis besseren Reaktionszeiten führte (Kapitel 7).

Die Vermessung des peripheren Sichtfeldes im Verkehrskontext an sich ist nicht neu. Andere Arbeiten haben sich bereits dem Thema genähert und die Sichtbarkeit von peripheren Lichtsignalen im realen oder simulierten Autofahrten bestimmt (Cohen, 1987; Trösterer et al., 2010). Anhand der bisherigen Studien konnte allerdings keine Aussage über die periphere Wahrnehmung für den Bereich an der Frontscheibenwurzel getroffen werden. Dieser Bereich ist jedoch besonders gut für periphere Warnungen geeignet, da keine Informationen aus der Umwelt verdeckt werden, aber der Bereich dennoch sehr nahe am üblichen Blickfokus liegt. In dieser Arbeit konnte nicht nur das Ergebnis repliziert werden, dass die Wahrnehmung in der Peripherie mit zunehmender Exzentrizität abnimmt, sondern die Ergebnisse aus Kapitel 4 liefern darüber hinaus konkrete Informationen über die periphere Wahrnehmung in diesem Bereich und auch Wahrnehmungsverteilungen für die im Verkehrskontext üblichen Blicke zu den Seitenspiegeln. Im Kernbereich des Fahrers (bis zu 110 cm seitlich von ihm entfernt) werden beim Blick geradeaus in der Regel mehr als 95 % der peripheren Signale bewusst wahrgenommen. Selbst darüber hinaus im äußersten Bereich (119-129 cm) wurden noch mindestens 80 % bemerkt.

Lediglich bei Ablenkung des Blicks von der Richtung nach vorne, zum Beispiel auf den linken Seitenspiegel sank die Detektionswahrscheinlichkeit der Lichtsignale auf 60 %.

Die Ergebnisse aus dieser Arbeit erweitern dadurch die bisherigen Erkenntnisse und übertragen sie auf den idealen Einsatzort einer Unscharfen Warnung. Dabei gelten die Werte nur für die getesteten Lichtsignale. Es ist davon auszugehen, dass die Erkennungsraten durch hellere oder breitere Signale noch deutlich verbessert werden können.

Zum Zeitpunkt dieser Arbeit scheint sich noch keine Forschungsarbeit mit der intuitiven Verständlichkeit von symbolfreien Warnungen im Kraftfahrzeug auseinandergesetzt zu haben. Die bisherigen Studien, welche unscharfe Warnkonzepte untersuchten, setzten praktisch ein Verständnis der Systeme voraus oder erklärten die Funktion der Anzeige vor dem Versuch (Laquai et al., 2010, 2011; Mahlke et al., 2007; Fricke, 2009; Maier et al., 2010, 2011). Doch gerade wenn eine Verhaltensanpassung erreicht werden soll, welche über reflexartiges Bremsen hinaus geht, ist es notwendig, dass Fahrer verstehen, welche Botschaft die Anzeige ihnen vermitteln soll. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen erstmalig, dass verschiedene Botschaften anhand von einer symbolfreien Anzeige in Form einer LED-Leiste erfolgreich an Fahrer übermittelt werden können, ohne dass ihnen die Funktion vorher erläutert werden müsste. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Fahrer sogar unaufgefordert ihr Fahrverhalten aufgrund der unscharfen Anzeige anpassten und sich mit der Anzeige sicherer im Straßenverkehr bewegten, indem sie eine angemessenere Geschwindigkeit wählten. Unscharfe Warnungen können also durchaus als Anzeigen für Informationen und Warnungen im Kraftfahrzeug verwendet werden. Eine symbolfreie Darstellung verhinderte im vorliegenden Untersuchungssetting nicht, dass die dargebotene Botschaft verstanden wurde.

Das Konzept der Unscharfen Warnungen verspricht verschiedene Vorteile gegenüber klassischen Anzeigen zu haben. Eine Hypothese war, dass die symbolfreie Darstellung die Fahrer weniger ablenken würde, da sie auch aus dem Augenwinkel wahrgenommen werden kann und keine zusätzliche Information über eine direkte Blickzuwendung erlangt werden kann. Bereits Mahlke et al. (2007) erkannten die Bedeutung dieser Frage und maßen sowohl die Dauer der Blickzuwendung, als auch den subjektiv empfundenen Aufwand von einem symbolfreien und fünf weiteren Nachtsichtsystemen. Sie stellten fest, dass das symbolfreie System insgesamt nicht nur deutlich weniger angeschaut wurde, sondern dass die subjektiv empfundene Belastung mit dem symbolfreien System sich im Gegensatz zu vier anderen Systemen nicht von der Kontrollbedingung ohne System unterschied. Allerdings wurden in der Studie von Mahlke et al. (2007) Nachtsichtsysteme als Referenz verwendet, die Videobilder der visuellen Szene in Echtzeit anzeigten. Ein bewegtes Videobild ist ungleich komplexer, als eine einfache symbolhafte Darstellung, wie sie in Fahrzeugen üblich ist. Es stellte sich daher die Frage, ob sich die Ergebnisse auch auf diese einfacheren Systeme übertragen lassen. Um diese Lücke zu schließen, wurde diese Frage in der vorliegenden Arbeit untersucht (Kapitel 6).

Tatsächlich wurde die unimodale Unscharfe LED-Warnung auch weniger angeschaut als eine einfache bimodale symbolhafte Warnung im Kombidisplay. Der von Mahlke et al. (2007) gefundene Effekt einer geringeren visuellen Ablenkung der Fahrer gilt also nicht nur für komplexe animierte Videobilder, sondern auch für eine einfache symbolische Warnung, wie sie heutzutage eingesetzt wird. Dies spricht dafür, dass symbolfreie Warnungen sowohl kognitiv als auch visuell weniger belastend sind, als andere Anzeigen. Eine höhere Belastung kann die Fahrzeugkontrolle und die Fähigkeit auf kritische Ereignisse zu reagieren einschränken (Engström, Johansson & Östlund, 2005; Strayer, Drews & Johnston, 2003). Auf diese Weise kann eine Unscharfe Warnung zur Erhöhung der Fahrsicherheit beitragen.

Ein anderer Vorteil welcher aufgrund der Unscharfen Warnung erwartet wurde, ist eine Verbesserung in der Reaktionszeit der Fahrer. Die bisher umfassendste Untersuchung von Reaktionszeiten auf uni- und bimodale unscharfe Warnungen im Vergleich zu anderen Systemen wurde von Maier et al. (2010) durchgeführt. Sie konnten einen Vorteil der LED-Leiste gegenüber einem

in die Frontscheibe eingeblendetem System zeigen. Im Vergleich mit einer klassischen symbolhaften Anzeige hinter dem Lenkrad erreichte die LED-Leiste gleich gute Reaktionszeiten. Generell wurde auf eine bimodale Unscharfe Warnung schneller reagiert als auf eine unimodale. Im Hinblick darauf, dass die Unscharfe Warnung zu einer geringeren Belastung der Fahrer führt, ist eine gleich gute Reaktionszeit auf ein klassisches System bereits als Vorteil zu werten. Dieser Effekt konnte in der in Kapitel 7 vorgestellten Studie auch anhand einer kleinen unimodalen Unscharfen Warnung, die nur 36 % der Breite der Frontscheibenwurzel ausmachte, repliziert werden. Diese Erkenntnis ist für den praktischen Einsatz der Anzeige relevant. So sind die Kosten eines neuen Assistenzsystems ein wichtiger Faktor für die Marktdurchdringung, denn normalerweise müssen die Kunden diese selbst tragen. Eine Leiste, die nur in einem kleinen Bereich vor dem Fahrer angezeigt wird, ist deutlich günstiger, als eine Leiste, welche die gesamte Breite der Frontscheibenwurzel abdeckt. Allerdings ist die günstigste Lösung ein bereits bestehendes System im Fahrzeug zu nutzen. Auch diese Option wurde in Kapitel 7 untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die Wirkung eines bereits vorhanden Displays verstärkt werden kann, wenn dort statt einer symbolhaften eine Unscharfe Warnung verwendet wird. Grundsätzlich würde es sich also sogar anbieten bereits bestehende Anzeigen für die Darbietung von Unscharfen Warnungen zu verwenden. Allerdings ist noch nicht bekannt, wie die Unscharfe Warnung in Interaktion mit anderen Anzeigen wirkt, die am gleichen Ort dargeboten werden. Weitere Forschung ist daher notwendig, bevor diese Option tatsächlich in Betracht gezogen werden kann.

Wie reagieren Fahrer auf Unscharfe Warnungen? Die Blicklenkung durch Lichtsignale ist bereits ein gut erforschtes Gebiet (siehe Kapitel 2.2.3). Die meisten Ergebnisse wurden allerdings im Laborsetting anhand von einfachen Reiz-Reaktionsmessungen gewonnen und sind daher nicht unbedingt auf den Fahrkontext übertragbar. Um eine Aussage über die Blicklenkung im Verkehrskontext zu treffen, war es daher notwendig die aus der Grundlagenforschung bekannten Effekte zu replizieren. Ein erster Schritt in dieser Richtung wurde bereits von Mahlke et al. (2007) unternommen. Hier wurden in einer Realfahrt Blickbewegungen auf verschiedene Nachtsichtsysteme inklusive einer Unscharfen Warnung untersucht. Allerdings lag der Fokus dieser Studie nicht auf der gezielten Blicklenkung in Richtung von Objekten auf der Straße, sondern im Vordergrund stand die Blickablenkung, welche durch die getesteten Systeme hervorgerufen wurde. Erfasst wurde die Relation zwischen Blickzuwendungen auf die Systeme und danach erfolgten korrekten Identifikationen von Fußgängern am nächtlichen Straßenrand. Alle Fälle, in denen die Fahrer die Fußgänger identifizierten, aber nicht vorher auf das System schauten oder nicht angaben das System zur Identifikation verwendet zu haben, wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Dadurch werden allerdings gerade die Fälle ausgeschlossen, die zu einer direkten Blickzuwendung zum Zielobjekt führen und auch die Fälle in denen die Probanden möglicherweise von der Anzeige profitiert haben, ohne sich dessen bewusst zu sein. Die in Kapitel 8 vorgestellte Untersuchung umging diese Einschränkungen, indem direkt das Blickverhalten auf die Straße untersucht wurde. Entgegen der Erwartung konnte nur eine schwache Blicklenkung erreicht werden. In Kapitel 10 zeigte sich sogar ein negativer Effekt durch eine der getesteten Animationen. Dies deutet darauf hin, dass sich eine Unscharfe Warnung in der Form, wie sie untersucht wurde, kaum dazu eignet den Blick der Fahrer auf potentielle Gefahren zu lenken. Die Ergebnisse sind somit sehr ähnlich zu den von Mahlke et al. (2007). Auch wenn in ihrem Versuch die LED-Leiste im Vergleich zu den anderen Nachtsichtsystemen für die meisten Identifikationen verantwortlich war, wurden insgesamt nur 10 % der Fußgänger mit diesem System erkannt. Im Vergleich zur Grundlagenforschung können beide Ergebnisse nicht die hohen Erfolgsraten aus dem Labor replizieren.

Eine unwillkürliche Blickausrichtung kann im Labor durch plötzliches Erscheinen oder einen abrupten Helligkeitsanstieg herbeigeführt werden (Irwin et al., 2000). Ein Grund für die schwä-

chen Effekte im angewandten Verkehrskontext könnte die geringere Salienz der Hinweisreize sein. Die Fahrsituation ist deutlich komplexer als die Laborsituation und während im Labor die Hauptaufgabe in der Bearbeitung der Aufgabe besteht, müssen die Fahrer auf der Straße primär auf den Straßenverkehr achten. Darüber hinaus werden die Zielreize in den meisten bisher untersuchten Szenarien auf der gleichen Fixationsebene wie die Hinweisreize dargeboten. In Bezug auf die Situation im Fahrzeug und eine Unscharfe Warnung befindet sich der Hinweisreiz (Warnung) allerdings relativ vor der Fixationsebene (Straße). Als Folge dessen konzentrieren sich die Fahrer in der Verkehrssituation eher auf andere Aspekte der Situation als die Anzeige. Vermutlich könnte der Effekt durch eine auffälligere Gestaltung des Richtungshinweises verstärkt werden. Dies wäre ein Ansatzpunkt für zukünftige Untersuchungen, um eine Blicklenkung im Fahrzeug zu erreichen. Eine Möglichkeit, die Anzeige auffälliger zu gestalten, wurde in Kapitel 10 untersucht. Hier wurde eine Animation zur oder von der Gefahrenrichtung verwendet, um den Blick der Fahrer zu lenken. Tatsächlich konnte eine Blicklenkung erreicht werden, überraschenderweise allerdings mit negativer Wirkung. Während eine Animation vom Fahrer in Richtung Gefahr keinen signifikanten Einfluss auf die Blickzuwendung hatte, lenkte eine Animation von der Gefahr zum Fahrer diesen eher ab und verlangsamte den Blick zur Gefahr. Eine Beeinflussung der Fahrer findet also durchaus statt, es ist nur schwieriger, einen positiven Effekt hervorzurufen als einen negativen zu vermeiden. Die Ergebnisse aus Kapitel 10 zeigen, dass die Anzeige bei falscher Gestaltung die Fahrer auch ablenken kann. Wird die Wirkung der Warnung maximiert, kann vermutlich eine zuverlässige Blickausrichtung erreicht werden, aber dabei wird der Fahrer auch von allen anderen Ereignissen, die gerade geschehen, abgelenkt. Dies wäre ungünstig, wenn das System nicht absolut zuverlässig arbeitet oder auch wenn mehrere Ereignisse gleichzeitig auftreten, auf die reagiert werden muss. Es sollte somit vermieden werden eine Blickausrichtung rein unwillkürlich zu erreichen. Ein Kompromiss würde eine Anzeige darstellen, welche gut sichtbar auf eine Gefahr hinweist, ohne den Fahrer zu bevormunden. Wie kann dies erreicht werden?

Während reflexartige Reaktionen automatisch ausgeführt werden und höchst zuverlässig funktionieren erfordern nicht-reflexartige Reaktionen Übung, um schnell und effizient ausgeführt zu werden. Um die Reaktion auf einen Richtungshinweis zu optimieren, müssen die Fahrer lernen, das System im Straßenverkehr zu nutzen. Wenn die Fahrer lernen, dass ein unscharfer Richtungshinweis sie auf wichtige Objekte hinweist, nutzen sie ihn vermutlich selbstständig zur Orientierung. Dieser Aspekt konnte in den bisher durchgeführten Versuchen aufgrund der kurzen Versuchsdauer noch nicht untersucht werden. Langzeitstudien mit zuverlässigen Systemen sind notwendig, um zu zeigen, ob eine längere Exposition zu einer besseren Unterstützung der Fahrer führen kann.

Wie kann man die Wirkung von Unscharfen Warnungen optimieren? Im dritten Teil der Arbeit wurde in zwei Studien untersucht, wie die Gestaltung einer Unscharfen Warnung optimiert werden kann. Hier zeigte sich, dass es bei der Kombination von mehreren Funktionen in einer Anzeige zu negativen Effekten kommen kann, wenn Anzeigen, die unterschiedliche Reaktionen erfordern, sehr ähnlich gestaltet sind (Kapitel 9). Außerdem zeigte sich am Beispiel einer mehrstufigen Warnung ein Reaktionsvorteil eines kontinuierlichen Warnüberganges im Vergleich zu einem abrupten (Kapitel 10).

Aufgrund des begrenzten Platzes im Fahrzeugraum werden Anzeigen mitunter für verschiedene Funktionen genutzt. Dies ist auch für die Unscharfe Warnung denkbar. Bei der Kombination von mehr als einer Funktion in einer Anzeige muss allerdings beachtet werden, dass es zu Übertragungseffekten kommen kann, wenn die Anzeigen ähnlich gestaltet sind (Möller & Frings, 2010). Gerade bei der Kombination von Hinweisen und Warnungen kann dies zu unerwünschten Nebeneffekten führen, da auf Warnungen unmittelbar reagiert werden muss, auf die Hinweise hingegen nicht. Die Ergebnisse von Möller und Frings (2010) wurden allerdings im Labor ge-

wonnen und es war bisher unklar, ob sich diese tatsächlich auf den Straßenverkehr übertragen lassen. Die bisherigen Untersuchungen zur Unscharfen Warnung haben sich ausschließlich mit einzelnen Warnsystemen beschäftigt und vor dieser Arbeit lagen keine Erkenntnisse über die Effekte von der gemeinsamen Nutzung der Anzeige für verschiedene Zwecke vor. In dieser Arbeit wurde der von Möller und Frings (2010) gefundene Effekt auf den angewandten Bereich übertragen und am Beispiel einer Nebelinformation untersucht (Kapitel 9). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass es tatsächlich zu Überreaktionen kommen kann, wenn Warnungen und Informationen in einer Anzeige kombiniert werden und sehr ähnlich gestaltet sind. Die anhand von einfachen Reiz-Reaktions Experimenten gewonnenen Ergebnisse von Möller und Frings (2010) konnten somit im anwendungsnäheren Fahrsimulatorversuch am Beispiel der Unscharfen Warnung repliziert werden. Dies spricht dafür, dass der Effekt der Wirkungsübertragung bei der Kombination von Informations- und Warnsystemen berücksichtigt werden muss. Eine angezeigte Botschaft, die den Fahrer frühzeitig über ein Ereignis informiert sollte sich genügend von einer Warnung unterscheiden, die eine unmittelbare Reaktion erfordert. Weitere Forschung ist jedoch notwendig, um zu bestimmen wo genau die Grenze liegt und in welchen Anwendungsszenarien dieser Effekt beachtet werden muss. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass sich eine hinreichend verschiedene Gestaltung auch innerhalb der Unscharfen Warnung durch die Anpassung von Größe, Form und Farbe erreichen lässt.

Während in dieser Studie der Effekt der Kombination von zeitlich relativ weit auseinander liegenden Warn- und Informationsbotschaften untersucht wurde, gibt es auch die Möglichkeit, diese in sehr kurzer Folge zu kombinieren. Erfolgen beide Stufen direkt nacheinander, kann anstelle von zwei Systemen von einer einzigen zweistufigen Warnung gesprochen werden. Diese bringt den Vorteil mit sich, dass frühzeitig über eine potentielle Gefahr informiert werden kann, ohne die Fahrer gleich mit einer aufdringlichen Warnung zu stören. Der Nutzen einer zweistufigen Warnung konnte bereits von Maier et al. (2011) demonstriert werden. Allerdings lagen bisher noch keine Erkenntnisse darüber vor, wie ein Übergang zwischen beiden Warnstufen gestaltet sein sollte. Dies wurde in Kapitel 10 untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass ein kontinuierlicher Warnübergang zu schnelleren Reaktionen führte als ein abrupter. Die Fahrer reagierten auf den Übergang mit einer Handlungsvorbereitung, obwohl sie wussten, dass dieser keine Information über einen notwendigen Eingriff vermittelte. Die Ergebnisse gelten zunächst für eine sehr spezifische experimentelle Situation. Allerdings entspricht die untersuchte Gestaltung durchaus einer realistischen Umsetzung (Abschnitt 10.2.3). Dies spricht dafür, kontinuierliche Warnübergänge einzusetzen, wenn zweistufige Unscharfe Warnungen verwendet werden.

Fazit Aufgrund dieser Erkenntnisse ergibt sich folgendes Bild: Die Unscharfe Warnung in Form einer LED-Leiste an der Frontscheibenwurzel eignet sich durchaus für die Anzeige von verschiedenen Assistenzfunktionen. Die erarbeiteten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die symbolfreie Darstellung bei gleich guter Wirkung die Fahrer weniger von der Straße ablenkt. Gerade durch die größere Warnfläche oder Nähe zum Blickfokus kann mit einer rein visuellen Warnung eine gleich gute Reaktion wie mit einer bimodalen visuell-akustischen klassischen Warnung erreicht werden oder sogar ein Reaktionsgewinn wenn die Unscharfe Warnung auch bimodal und somit visuell-akustisch dargeboten wird. Interessant ist hier, dass sich der positive Effekt im vorliegenden Versuch sogar mit einer klassischen Anzeige, die bereits in vielen Fahrzeugen verfügbar ist, erreichen ließ. Dies deutet darauf hin, dass prinzipiell nicht einmal ein neues Display in Fahrzeugen verbaut werden müsste, um die Vorteile einer Unscharfen Warnung zu nutzen. Bereits heute könnte also mit geringem Aufwand ein unscharfes Warnkonzept umgesetzt werden. Da bisher kein deutlicher Hinweis auf eine blicklenkende Wirkung gefunden werden konnte, scheinen sich die bisher untersuchten Konzepte nicht zur gezielten Blickausrichtung der Fahrer zu eignen.

Ausblick Das neue Warnkonzept der Unscharfen Warnung besitzt somit das Potential, Fahrer im Vergleich zu klassischen Anzeigen zu entlasten und ihre Reaktionen zu verbessern. Dies eröffnet einen ganz neuen Bereich für Warnsysteme. Auch wenn eine symbolhafte Darstellung von Anzeigen weit verbreitet ist, zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass Anzeigen auch durchaus anders gestaltet werden können ohne an Funktionalität einzubüßen. Unscharfe Warnungen eröffnen neue Möglichkeiten für Designer Anzeigen unauffällig und ansprechend in Fahrzeuge zu integrieren. Auch wenn die Effektivität in einzelnen Anwendungsszenarien noch gezeigt werden muss, sprechen die ersten Ergebnisse dafür, dass verschiedene Anzeigen durch unscharfe Systeme ersetzt werden oder neue Anzeigen auf diese Weise dargestellt werden könnten. In Zukunft könnten Unscharfe Warnungen anstelle von oder ergänzend zu klassischen Anzeigen im Fahrzeug verbaut werden und auf diese Weise die Komplexität von Anzeigen und Warnungen im Fahrzeug wieder reduzieren.

Durch die Zunahme an verfügbarer Information und Assistenz im Fahrzeug nimmt die Dichte an präsentierten Inhalten zu. Während vor 20 Jahren noch überwiegend analoge Anzeigen mit festen Funktionen im Armaturenbrett verbaut wurden, finden sich heute zunehmend kleine Bildschirme, die wechselnde Inhalte darstellen können und über eine Anzeige verschiedene Funktionen darstellen. Auch wenn die Hinweise und Warnungen dem Fahrer wichtige Informationen zu Navigation, potentiellen Gefahren und Verkehrsregelung zur Verfügung stellen können, bedeutet das nicht, dass der Fahrer diese auch alle aufnehmen kann. Die Herausforderung liegt in der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittelle und darin die Information auf eine Weise zu präsentieren, dass diese effektiv genutzt werden kann.

Die Unscharfe Warnung bietet hier eine Möglichkeit diesem Ziel näher zu kommen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Nutzung einer Unscharfen Warnung ein System nicht automatisch 'besser' werden lässt. Auch hier spielt Art der Umsetzung eine wichtige Rolle. Aber bei richtiger Gestaltung bietet eine unscharfe Darstellung wichtige Vorteile gegenüber symbolhaften Anzeigen. So können schnellere Reaktionen, geringere Ablenkung und höherer Akzeptanz erreicht werden. In dieser Arbeit und auch in bisherigen Studien zu Unscharfen Warnungen wurden jeweils nur einzelne Systeme untersucht. Eine spannende Frage ist, in wie weit Anzeigen im Fahrzeug durch eine unscharfe Darstellung sinnvoll ersetzen lassen. In dieser Arbeit führte ein generischer Hinweis auf zu schnelles Fahren dazu, dass Fahrer ihre Geschwindigkeit anpassten. Müssen Fahrer wirklich jederzeit genau wissen wie ihre exakte Geschwindigkeit in km/h ist? Reicht es eigentlich nicht aus zu wissen, ob sie für die gegebene Situation mit einer angemessenen Geschwindigkeit unterwegs sind? Ein dynamischer Hinweis, welcher anhand der aktuellen Situation und Position die zulässige Höchstgeschwindigkeit bestimmt müsste nur im Falle einer Übertretung aktiv werden. Dies vermindert die Informationsdichte, welche an die Fahrer vermittelt wird, indem die Information auf ein absolut notwendiges Maß gefiltert wird. Durch eine Verlagerung eines Teils der Situationsbewertung an das Fahrzeug können die Fahrer entlastet werden. Dabei findet keine Bevormundung wie im Falle von kompletter Fahrautomation statt, sondern eine Unterstützung in einem Teil der Fahraufgabe. Auf diese Weise können Fahrer sich mehr auf das Fahren selbst konzentrieren.

Dieser Gedanke erscheint zunächst vielleicht komisch, da die Wahl der Geschwindigkeit in km/h und der Abgleich mit erlaubten Geschwindigkeiten bisher ein fester Bestandteil der Fahraufgabe gewesen ist. Doch bei näherer Betrachtung ist das Übergeben eines Teils der Fahraufgabe an ein System gar nicht so ungewöhnlich. Bereits die Einführung des elektrischen Anlassers war ein solcher Schritt. Die Fahrer mussten nicht länger selbst ihren Motor starten, sondern brauchten nur noch die Zündung betätigen. Ein weiteres Beispiel ist die Nutzung von Navigationsgeräten. Auch hier muss nicht länger der Fahrer oder Beifahrer Karten mitführen und die Route bestimmen. Stattdessen wird nur noch das Ziel zum Beginn der Reise eingegeben und danach den Anweisungen des Systems gefolgt. Unter diesem Gesichtspunkt kann man durchaus in Frage stellen, ob das ständige Ablesen von aktueller Geschwindigkeit am Tacho und der

erlaubten Höchstgeschwindigkeit von Schildern am Straßenrand auch weiterhin Teil der Fahraufgabe sein muss. Auch die Notwendigkeit anderer Anzeigen kann auf diese Weise hinterfragt werden. Der Extremfall wäre sicherlich eine einzige unscharfe Anzeige, welche je nach Situation nur noch die aktuell relevante Information anzeigt und inaktiv ist, wenn der Fahrer sich sicher im Straßenverkehr bewegt. Das zugrunde liegende Konzept ist das einer generischen Warnung, welches ein Forschungsthema für sich ist. Eine Warnung, die sehr allgemeine Hinweise liefert muss auch nicht zwangsläufig über eine Unscharfe Warnung umgesetzt werden. Doch die besonderen Eigenschaften einer Unscharfen Warnung führen dazu näher über das Konzept einer generischen Warnung nachzudenken. Dadurch ergibt sich ein weites Feld für weitere Forschung.

Die weitere Verlagerung von Teilaufgaben des Fahrens an das Fahrzeug, wie eines dynamischen Geschwindigkeitshinweises, erfordert umfassende und hochaktuelle Informationen aus Fahrzeugsensoren und Infrastruktur. Nur auf diese Weise wird das Fahrzeug in die Lage versetzt, die Situation in dem jeweiligen Teilbereich so gut zu beurteilen, wie ein Fahrer es kann. Dies wird durch heutige Technologie immer realistischer. Früher war es nicht möglich, einen Tachometer zu bauen, welcher selbstständig die aktuelle Situation beurteilt und anhand von Wetter, Straßenabschnitt, Verkehr und vorhandener Regulierung die angemessene Geschwindigkeit berechnet. Mittlerweile befinden wir uns jedoch in einer Zeit, in welcher aufgrund von großen Fortschritten in der Informationsverarbeitungs- und Sensortechnik sogar vollständig autonome Fahrzeuge keine Science Fiction mehr sind. Es gibt somit keinen technischen Grund mehr gegen den Einsatz von unscharfen Anzeigen im Fahrzeug. Die einzige Frage, die gestellt werden muss, ist, in wie weit das Paradigma von sehr generischen Anzeigen im Fahrzeug für den Straßenverkehr vorteilhaft ist.

Die langjährige Forschung auf dem Gebiet der Verkehrssicherheit hat dazu geführt, dass die Zahl der Unfalltoten in Deutschland in den letzten 40 Jahren trotz steigender Verkehrsdichte auf ein Viertel der damaligen Höhe gesenkt werden konnten. Wenn dieser Trend fortgesetzt werden soll, müssen auch die nicht offensichtlichen Möglichkeiten zur Unfallreduktion gefunden und genutzt werden. Diese Arbeit hat gezeigt, dass Unscharfe Warnungen einen vielversprechenden neuen Ansatz darstellen, um genau dies zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- ADAC. (2011a). *ADAC Pkw-Monitor 2011/II*. Zugriff am 21.09.2012 auf <http://media.adac.de/nc/mediaservice/studien.html?cid=3525&did=1876&sechash=b2f1aff1>
- ADAC. (2011b). *Fahrerassistenzsysteme* [Internetseite]. Zugriff am 13.09.2012 auf <http://www.adac.de/infotestrat/technik-und-zubehoer/fahrerassistenzsysteme/default.aspx?tabid=tab3>
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4 (10), 829–839. doi: 10.1038/nrn1201
- Bock, T., Maurer, M. & Färber, G. (2007, Juni). Validation of the Vehicle in the Loop (VIL); A milestone for the simulation of driver assistance systems. In *Intelligent Vehicles Symposium, 2007 IEEE* (S. 612 -617). doi: 10.1109/IVS.2007.4290183
- Briest, S. & Vollrath, M. (2006). In welchen Situationen machen Fahrer welche Fehler? Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme durch In-Depth-Unfallanalysen. In *VDI-Berichte 1960* (S. 449–463).
- Buehler, M., Iagnemma, K., Singh, S., Rauskolb, F. W., Berger, K., Lipski, C., ... Rumpe, B. (2008). Caroline: An autonomously driving vehicle for urban environments. *Journal of Field Robotics*, 25 (9), 674–724. doi: 10.1002/rob.20254
- Chabris, C. & Simons, D. (1999). *The invisible gorilla* [Video]. Zugriff am 13.09.2012 auf <http://www.theinvisiblegorilla.com/videos.html>
- Chapman, P. R. & Underwood, G. (1998). Visual search of driving situations: Danger and experience. *Perception*, 27 (8), 951–964. doi: 10.1068/p270951
- Cohen, A. (1987). The latency of simple reaction on highways: A field study. *Public Health Reviews*, 15 (4), 291–310.
- Cowey, A. & Rolls, E. (1974). Human cortical magnification factor and its relation to visual acuity. *Experimental Brain Research*, 21 (5), 447–454. doi: 10.1007/BF00237163
- Crundall, D., Underwood, G. & Chapman, P. (2002). Attending to the peripheral world while driving. *Applied Cognitive Psychology*, 16 (4), 459–475. doi: 10.1002/acp.806
- Curcio, C. A., Sloan, K. R., Kalina, R. E. & Hendrickson, A. E. (1990). Human photoreceptor topography. *Journal of Comparative Neurology*, 292 (4), 497–523. doi: 10.1002/cne.902920402
- Desimone, R. & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18 (1), 193–222. doi: 10.1146/annurev.ne.18.030195.001205
- Die Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft. (1968). *Übereinkommen über den Straßenverkehr*. Schweiz. Zugriff am 13.09.2012 auf http://www.admin.ch/ch/d/sr/0_741_10/index.html
- Diederich, A. & Colonius, H. (2004). Bimodal and trimodal multisensory enhancement: effects of stimulus onset and intensity on reaction time. *Perception And Psychophysics*, 66 (8), 1388–1404. doi: 10.3758/BF03195006
- Dingus, T., Klauer, S., Neale, V., Petersen, A., Lee, S., Sudweeks, J., ... Knipling, R. (2006). *The 100-Car Naturalistic Driving Study, Phase II - Results of the 100-Car Field Experiment* (Bericht Nr. DOT HS 810 593). Washington, DC: NHTSA, U.S. Department of Transportation. Zugriff am 09.02.2013 auf <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/Driver%20Distraction/100CarMain.pdf>

- DIW Berlin, TNS Infratest Sozialforschung. (2006). *Sozio-oekonomisches Panel (SOEP)* [Internetseite]. Zugriff am 25.03.2013 auf <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1825/umfrage/koerpergroesse-nach-geschlecht/> (zitiert nach de.statista.com)
- Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113 (4), 501–517. doi: 10.1037/0096-3445.113.4.501
- Duncan, J. & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96 (3), 433–458. doi: 10.1037/0033-295X.96.3.433
- Engström, J., Johansson, E. & Östlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F*, 8, 97–120. doi: 10.1016/j.trf.2005.04.012
- European Commission. (2010a, 20. Juli). *Straßenverkehrssicherheit: Kommission stellt Maßnahmen zur Halbierung der Zahl der Verkehrstoten bis 2020 vor* (Bericht Nr. IP/10/970). Brüssel. Zugriff am 27.10.2012 auf http://europa.eu/rapid/press-release_IP-10-970_de.htm?locale=en
- European Commission. (2010b). *Traffic safety basic facts 2010: Pedestrians*. Zugriff auf http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/statistics/dacota/bfs2010_dacota-kfv-1-3-pedestrians.pdf
- Evans, P. M. & Craig, J. C. (1991). Tactile attention and the perception of moving tactile stimuli. *Perception & Psychophysics*, 49 (4), 355–364. doi: 10.3758/BF03205993
- Fahle, M. & Wehrhahn, C. (1991). Motion perception in the peripheral visual field. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 229 (5), 430–436. doi: 10.1007/BF00166305
- Farmer, C. M. (2008, Juni). *Crash avoidance potential of five vehicle technologies* (Bericht). Arlington, VA: Insurance Institute For Highway Safety. Zugriff am 25.09.2012 auf <http://www.carsafety.org/research/topics/pdf/r1107.pdf>
- Folk, C. L., Remington, R. W. & Wright, J. H. (1994). The structure of attentional control: Contingent attentional capture by apparent motion, abrupt onset, and color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20 (2), 317–329. doi: 10.1037/0096-1523.20.2.317
- Forster, B., Cavina-Pratesi, C., Aglioti, S. M. & Berlucchi, G. (2002). Redundant target effect and intersensory facilitation from visual-tactile interactions in simple reaction time. *Experimental Brain Research*, 143 (4), 480–487. doi: 10.1007/s00221-002-1017-9
- Fricke, N. (2009). *Gestaltung zeit- und sicherheitskritischer Warnungen im Fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin.
- Gellatly, A. W. & Kleiss, J. A. (2000). Visual attention demand evaluation of conventional and multifunction in-vehicle information systems. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44 (20), 3-282–3-285. doi: 10.1177/154193120004402015
- Gish, K. W. & Staplin, L. (1995). *Human factors aspects of using head up displays in automobiles: A review of the literature* (Bericht Nr. DOT HS 808 320). Washington and DC: NHTSA, U.S. Department of Transportation. Zugriff am 14.09.2012 auf http://ntl.bts.gov/lib/jpodocs/edlbrow/3r_01!.pdf
- Greenhouse, S. W. & Geisser, S. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 24, 95–112.
- Gwehenberger, J., Schwertberger, W. & Daschner, D. (2006). Wirkungspotentiale von Adaptive Cruise Control und Lane Guard System bei schweren Nutzfahrzeugen. In *2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz*. Zugriff am 24.09.2012 auf http://www.ftm.mw.tum.de/uploads/media/06g_schwertberger.pdf
- He, S., Cavanagh, P. & Intriligator, J. (1996). Attentional resolution and the locus of visual awareness. *Nature*, 383, 334–337.

- Henning, M. J., Kienast, H., Lindner, P., Weigel, H., Krems, J. F., Spanner-Ulmer, B. & Wanielik, G. (2008). Multifunktionale Mensch-Maschine-Schnittstelle für Fahrerassistenzsysteme. In M. Maurer (Hrsg.), *5. Workshop Fahrerassistenzsysteme*. Karlsruhe: Fmrt.
- Herslund, M.-B. & Jørgensen, N. O. (2003). Looked-but-failed-to-see-errors in traffic. *Accident Analysis and Prevention*, *35* (6), 885–891. doi: 10.1016/S0001-4575(02)00095-7
- Hoffmann, S., Krüger, H. P. & Buld, S. (2003). Vermeidung von Simulator Sickness anhand eines Trainings zur Gewöhnung an die Fahrsimulation. In *VDI-Berichte 1745* (S. 385–404).
- Horrey, W. & Wickens, C. (2004). Driving and side task performance: The effects of display clutter, separation, and modality. *Human Factors*, *46* (4), 611–624.
- Hunzelmann, N. & Spillmann, L. (1984). Movement adaptation in the peripheral retina. *Vision Research*, *24* (12), 1765–1769. doi: 10.1016/0042-6989(84)90007-5
- Irwin, D. E., Colcombe, A. M., Kramer, A. F. & Hahn, S. (2000). Attentional and oculomotor capture by onset, luminance and color singletons. *Vision Research*, *40* (10-12), 1443–1458. doi: 10.1016/S0042-6989(00)00030-4
- Itti, L. & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, *40* (10-12), 1489–1506. doi: 10.1016/S0042-6989(99)00163-7
- Itti, L. & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience*, *2* (3), 194–203. doi: 10.1038/35058500
- Itti, L., Koch, C. & Niebur, E. (1998). A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *20* (11), 1254–1259. doi: 10.1109/34.730558
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Hrsg.), *Attention and performance IX* (S. 187–203). Erlbaum.
- Katz, B. J. (2007). *Peripheral transverse pavement markings for speed control*. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia. Zugriff am 13.09.2012 auf <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-05172007-135959/>
- Kienast, H., Lindner, P., Weigel, H., Henning, M., Krems, J., Wanielik, G. & Spanner-Ulmer, B. (2008). Aufmerksamkeitssteuerung durch räumlich gerichtete Anzeigen in Fahrerassistenzsystemen. In *VDI Berichte 2048* (S. 413–423).
- King, M. J., Soole, D. W. & Ghafourian, A. (2009). Illegal pedestrian crossing at signalised intersections: Incidence and relative risk. *Accident Analysis and Prevention*, *41* (3), 485–490. doi: 10.1016/j.aap.2009.01.008
- Knudsen, E. I. (2007). Fundamental components of attention. *Annual Review of Neuroscience*, *30* (1), 57–78. doi: 10.1146/annurev.neuro.30.051606.094256
- LaBar, K. S., Gitelman, D. R., Parrish, T. B. & Mesulam, M.-M. (1999). Neuroanatomic Overlap of Working Memory and Spatial Attention Networks: A Functional MRI Comparison within Subjects. *NeuroImage*, *10* (6), 695–704. doi: 10.1006/nimg.1999.0503
- Lambert, A., Spencer, E. & Mohindra, N. (1987). Automaticity and the capture of attention by a peripheral display change. *Current Psychology*, *6* (2), 136–147. doi: 10.1007/BF02686618
- Lamble, D., Laakso, M. & Summala, H. (1999). Detection thresholds in car following situations and peripheral vision: implications for positioning of visually demanding in-car displays. *Ergonomics*, *42* (6), 807–815. doi: 10.1080/001401399185306
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, *33* (1), 159–174. doi: 10.2307/2529310
- Lappin, J. S., Tadin, D., Nyquist, J. B. & Corn, A. L. (2009). Spatial and temporal limits

- of motion perception across variations in speed, eccentricity, and low vision. *Journal of Vision*, 9 (1), 1-14. doi: 10.1167/9.1.30
- Laquai, F., Chowanetz, F. & Rigoll, G. (2011, Oktober). A large-scale led array to support anticipatory driving. In *2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (S. 2087 -2092). Zugriff am 13.09.2012 auf <http://www.mmk.ei.tum.de/publ/mmk.html> doi: 10.1109/ICSMC.2011.6083980
- Laquai, F., Rigoll, G., Duschl, M., Popiv, D. & Rakic, M. (2010). Geschwindigkeitsbeeinflussung durch großflächige abstrakte optische Anzeigen. In *Tagungsband "Sicherheit durch Fahrerassistenz"*. Zugriff am 13.09.2012 auf <http://www.mmk.ei.tum.de/publ/mmk.html>
- Li, L., Miller, E. & Desimone, R. (1993). The representation of stimulus familiarity in anterior inferior temporal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 69 (6), 1918–1929.
- Loftus, G. R. & Masson, M. E. J. (1994). Using confidence intervals in within-subject designs. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1 (4), 476–490. doi: 10.3758/BF03210951
- Loschky, L., McConkie, G., Yang, J. & Miller, M. (2005). The limits of visual resolution in natural scene viewing. *Visual Cognition*, 12 (6), 1057-1092. doi: 10.1080/13506280444000652
- Mahlke, S., Rösler, D., Seifert, K., Krems, J. F. & Thüring, M. (2007). Evaluation of Six Night Vision Enhancement Systems: Qualitative and Quantitative Support for Intelligent Image Processing. *Human Factors*, 49 (3), 518–531. doi: 10.1518/001872007X200148
- Maier, K., Hellbrück, J., Sacher, H., Meurle, J. & Widmann, U. (2011). Multimodaler Warnbaukasten. In *VDI-Berichte 2134* (S. 75-91).
- Maier, K., Sacher, H. & Hellbrück, J. (2010). A first step towards an integrated warning approach. In T. Ahram (Hrsg.), *Advances in ergonomics modeling and usability evaluation* (S. 259–268). CRC Press.
- Maunsell, J. & Treue, S. (2006). Feature-based attention in visual cortex. *Trends in Neurosciences*, 29 (6), 317–322. doi: 10.1016/j.tins.2006.04.001
- McCormick, P. A. (1997). Orienting attention without awareness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23 (1), 168–180. doi: 10.1037/0096-1523.23.1.168
- Miller, E. K. & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24 (1), 167–202. doi: 10.1146/annurev.neuro.24.1.167
- Miller, J. (1989). The control of attention by abrupt visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics*, 45 (6), 567–571. doi: 10.3758/BF03208064
- Möller, B. & Frings, C. (2010). Are Warning Signals Always Helpful? Links Between Perception and Action in Driving Situations. In *Human Factors and Ergonomics European Society – Annual Meeting*. Berlin.
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11 (1), 56–60. doi: 10.1080/17470215908416289
- Mourant, R. R. & Rockwell, T. H. (1970). Mapping eye-movement patterns to the visual scene in driving: an exploratory study. *Human Factors*, 12 (1), 81–87.
- Mourant, R. R. & Rockwell, T. H. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human Factors*, 14 (4), 325–335.
- Niederée, U. & Vollrath, M. (2009). Fahrerassistenzsysteme der Zukunft. Führt da der Mensch noch mit? In *VDI-Berichte 2085* (S. 193–205). Düsseldorf: VDI.
- Osaka, N. (1976). Reaction time as a function of peripheral retinal locus around fovea: effect of stimulus size. *Perceptual and Motor Skills*, 43 (2), 603–606. doi: 10.2466/pms.1976.43.2.603
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 32 (1), 3–25. doi: 10.1080/00335558008248231
- Posner, M. I., Nissen, M. J. & Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing

- modes: the role of set for spatial location. In H. L. Pick & I. J. Saltzman (Hrsg.), *Modes of perceiving and processing information* (S. 137–157). Erlbaum.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109 (2), 160–174. doi: 10.1037/0096-3445.109.2.160
- Purves, D. & Williams, S. M. (2004). *Neuroscience* (3. Aufl.). Sunderland and Mass: Sinauer.
- Räsänen, M. & Summala, H. (1998). Attention and expectation problems in bicycle–car collisions: an in-depth study. *Accident Analysis & Prevention*, 30 (5), 657–666. doi: 10.1016/S0001-4575(98)00007-4
- Reicher, G. M., Snyder, C. R. & Richards, J. T. (1976). Familiarity of background characters in visual scanning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2 (4), 522–530. doi: 10.1037/0096-1523.2.4.522
- Remington, R. (1978). *Visual attention, detection and the control of saccadic eye movements*. Dissertation, University of Oregon.
- Remington, R., Johnston, J. C. & Yantis, S. (1992). Involuntary attentional capture by abrupt onsets. *Perception & Psychophysics*, 51 (3), 279–290. doi: 10.3758/BF03212254
- Reynolds, J. H. & Chelazzi, L. (2004). Attentional modulation of visual processing. *Annual Review of Neuroscience*, 27 (1), 611–647. doi: 10.1146/annurev.neuro.26.041002.131039
- Richards, J. & Reicher, G. (1978). The effect of background familiarity in visual search: An analysis of underlying factors. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 23, 499–505. Zugriff am 18.09.2012 auf <http://dx.doi.org/10.3758/BF03199526> doi: 10.3758/BF03199526
- Sivak, M. (1996). The information that drivers use: is it indeed 90% visual? *Perception*, 25 (9), 1081–1089. doi: 10.1068/p251081
- Sivak, M., Flannagan, M., Miyokawa, T. & Traube, E. (1999). *Color identification in the visual periphery: Consequences for color coding of vehicle signals* (Bericht Nr. UMTRI-99-20). The University of Michigan Transportation Research Institute.
- Statistisches Bundesamt. (2011a). *Unfallentwicklung auf deutschen Strassen 2010*. Wiesbaden. Zugriff am 25.09.2012 auf https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/Unfallentwicklung5462401109004.pdf?__blob=publicationFile (Fachserie 8, Reihe 7)
- Statistisches Bundesamt. (2011b). *Verkehrsunfälle 2010*. Wiesbaden. Zugriff am 13.09.2012 auf https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleJ2080700107004.pdf?__blob=publicationFile (Fachserie 8, Reihe 7)
- Statistisches Bundesamt. (2012a). *Bevölkerung und Erwerbstätigkeit 2010*. Wiesbaden. Zugriff am 25.09.2012 auf https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Bevoelkerungsfortschreibung2010130107004.pdf?__blob=publicationFile (Fachserie 1 Reihe 1.3)
- Statistisches Bundesamt. (2012b). *Verkehrsunfälle 2011*. Wiesbaden. Zugriff am 14.09.2012 auf https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleJ2080700117004.pdf?__blob=publicationFile (Fachserie 8, Reihe 7)
- Strayer, D., Drews, F. & Johnston, W. (2003). Cell Phone-Induced Failures of Visual Attention During Simulated Driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9 (1), 23–32. doi: 10.1037/1076-898X.9.1.23
- Summala, H. (1998). Forced peripheral vision driving paradigm: Evidence for the hypothesis that car drivers learn to keep in lane with peripheral vision. In A. Gale (Hrsg.), *Vision in Vehicles VI* (S. 51–60). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Summala, H., Lamble, D. & Laakso, M. (1998). Driving experience and perception of the lead

- car's braking when looking at in-car targets. *Accident Analysis & Prevention*, 30 (4), 401-407. doi: 10.1016/S0001-4575(98)00005-0
- Summala, H., Nieminen, T. & Punto, M. (1996). Maintaining lane position with peripheral vision during in-vehicle tasks. *Human Factors*, 38 (3), 442-451.
- Summala, H., Pasanen, E., Räsänen, M. & Sievänen, J. (1996). Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns. *Accident Analysis & Prevention*, 28 (2), 147-153. doi: 10.1016/0001-4575(95)00041-0
- Theeuwes, J. (1991). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Perception & Psychophysics*, 50 (2), 184-193. doi: 10.3758/BF03212219
- Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, 51 (6), 599-606. doi: 10.3758/BF03211656
- Thrun, S. (2011, März). *Google's driverless car* [Video]. Zugriff am 13.09.2012 auf http://www.ted.com/talks/sebastian_thrun_google_s_driverless_car.html
- Treisman, A. M. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12 (1), 97-136. doi: 10.1016/0010-0285(80)90005-5
- Treue, S. & Trujillo, J. C. M. (1999). Feature-based attention influences motion processing gain in macaque visual cortex. *Nature*, 399 (6736), 575-579. doi: 10.1038/21176
- Trösterer, S., Dzaack, J. & Zschernack, S. (2010, 6. Oktober). Periphere Wahrnehmung bei der Fahrzeugführung. In J. Dzaack (Chair), *Workshop Periphere Wahrnehmung*, Berlin.
- Vollrath, M., Briest, S., Drewes, J., Schießl, C. & Becker, U. (2006). *Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit* (Nr. F 60).
- Welford, A. (1952). The psychological refractory period and the timing of high speed performance - a review and a theory. *British Journal of Psychology*, 43 (1), 2-19.
- Werneke, J. & Vollrath, M. (2011). Signal evaluation environment: a new method for the design of peripheral in-vehicle warning signals. *Behavior Research Methods*, 43 (2), 537-547. doi: 10.3758/s13428-010-0054-8
- Wierwille, W. W. (1995). Eine Analyse von Unfallberichten als ein Mittel zur Bestimmung von Problemen, die durch die Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit und der visuellen Belastung innerhalb des Fahrzeugs verursacht werden. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 41, 164-168.
- Wierwille, W. W. & Tijerina, L. (1998). Modelling The Relationship Between Driver In-Vehicle Visual Demands And Accident Occurrence. In A. Gale (Hrsg.), *Vision in Vehicles VI* (S. 233-243). Amsterdam and The Netherlands: Elsevier Science Publishers.
- Woodson, W. & Conover, D. (1964). *Human engineering guide for equipment designers*. University of California Press. Zugriff am 13.09.2012 auf <http://goo.gl/8ZWbJ>
- World Health Organization. (Juni 2009). *Pedestrians, cyclists among main road traffic crash victims*. Geneva. Zugriff am 13.09.2012 auf http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2009/road_safety_report_20090615/en/index.html
- Wynn, T. & Richardson, J. H. (2008). Comparison of subjective Workload Ratings and Performance Measures of a Reference IVIS Task. In *Proceedings of the European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems, 3-4th April 2008*. Lyon, France. Zugriff am 14.09.2012 auf <http://hdl.handle.net/2134/4933>
- Yu, S. (2010). *Peripheral vision by driving*. Bachelorarbeit, Technische Universität Berlin, Berlin.
- Zschernack, S., Göbel, M., Treugut, F. & Yoo, S. (2010, 6. Oktober). Die Rolle peripheren Sehens beim Fahren - Erhöhte Fahrsicherheit durch bewusste Gestaltung? In J. Dzaack (Chair), *Workshop Periphere Wahrnehmung*, Berlin.